

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона

Кафедра фізики металів

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:

В.о. завідувача кафедри

_____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Металофізичні процеси та їх
комп'ютерне моделювання»**

зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

**на тему: «Формування композиційних покриттів ультразвуковою ударною
обробкою поверхні латуні ЛС59-1 з використанням армуючих часток
карбіду кремнію»**

Виконав:

студент II курсу, групи ФМ-91мп

Крутяк Роман Ярославович

Керівник:

Ст. викладач, к. т. н.,

Бурмак А.П.

Консультант з оформлення стартап – проекту:

Доцент, к. е. н.,

Нараєвський С. В.

Консультант з охорони праці та безпеки в

надзвичайних ситуаціях:

Професор, д. т. н.,

Левченко О. Г.

Консультант з нормконтролю:

Асистент КФМ,

Шаповалова Н. А.

Рецензент:

д. ф. – м. н., проф,

Карпець М. В.

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона
Кафедра фізики металів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма «Металофізичні процеси та їх комп'ютерне моделювання»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ 20__ р.
«__» _____

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Крутяк Роман Ярославович

1. Тема дисертації «Формування композиційних покриттів ультразвуковою ударною обробкою поверхні латуні ЛС59-1 з використанням армуючих часток карбіду кремнію», науковий керівник дисертації Бурмак Андрій Петрович, кандидат технічних наук, затверджені наказом по університету від «16» листопада 2020 р. №3314-с

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження: формування композиційних покриттів на поверхні латуні ЛС59-1.

4. Вихідні дані: літературні дані, та результати особистих експериментів.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1. Дослідити можливість синтезу високоміцних композиційних покриттів ультразвуковою ударною обробкою поверхні латуні ЛС59-1 впродовж на повітрі з додаванням порошків SiC різної фракції, 2. Зробити висновки на основі отриманих експериментальних даних.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: зображення мікроструктур, таблиці, графіки.

7. Орієнтовний перелік публікацій: тези «Синтез композитних шарів на латуні ЛС59-1 ультразвуковою ударною обробкою»; «Особливості структурно-фазового стану поверхневих шарів латуні ЛС59-1 після високочастотного ударного оброблення в різних середовища».

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Професор, д.т.н. Левченко О. Г.		
Оформлення стартап – проекту	Доцент, к.е.н. Нараєвський С. В.		
Нормоконтроль	Асистент, Шаповалова Н. А.		

9. Дата видачі завдання «01» вересня 2020р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Видача завдання	01.09.2020	
2	Проведення та написання літературного огляду	20.09.2020	
3	Освоєння методик дослідження	01.09.2020	
4	Виконання експериментальних досліджень	10.10.2020	
5	Отримання результатів	20.10.2020	
6	Написання висновків	01.11.2020	
7	Оформлення роботи	30.11.2020	
8	Оформлення презентації та написання доповіді	02.12.2020	
9	Попередній захист	08.12.2020	
10	Захист на засіданні ЕК	21.12.2020	

Студент

Крутяк Р.Я.

Науковий керівник

Бурмак А.П.

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 65 сторінок, 49 рисунків, 17 таблиць, 21 літературних джерел.

КОМПОЗИЦІЙНІ ПОКРИТТЯ, ЛАТУНЬ, МІКРОТВЕРДІСТЬ, ПОВЕРХНЕВИЙ ШАР, УЛЬТРАЗВУКОВА УДАРНА ОБРОБКА, ФАЗА.

Об'єкт досліджень – композиційні покриття на поверхні латуні ЛС59-1, створені методом ультразвукової ударної обробки на повітрі з використанням армуючи часток SiC різної фракції.

Предмет дослідження – процеси структурно-фазових перетворень в поверхневому шарі латуні ЛС59-1 під час ультразвукової ударної обробки на повітрі з використанням часток SiC різної фракції.

Мета роботи – дослідження зміни мікротвердості та фазового складу поверхневого шару латуні ЛС59-1 під час ультразвукової ударної обробки на повітрі з використанням часток SiC різної фракції

Методи дослідження – рентгеноструктурний фазовий аналіз, вимірювання мікротвердості за Вікерсом.

Результати досліджень та їх новизна – досліджено можливість синтезу за допомогою ультразвукової ударної обробки високоміцних композиційних покриттів деформаційного походження із більш високими, порівняно із аналогічними умовами обробки поверхні латуні ЛС59-1 механічними властивостями.

ABSTRACT

Master thesis: 65 pages, 49 figures, 17 tables, 21 references.

ULTRASOUND IMPACT TREATMENT, BRASS, SURFACE LAYER, MICROHARDNESS, COMPOSITION COATINGS, PHASE.

The object of research - composite coatings on the surface of brass LS59 1, created by ultrasonic shock treatment in air using reinforcing SiC particles of different fractions.

The subject of research - the processes of structural-phase transformations in the surface layer of brass LS59-1 during ultrasonic shock treatment in air using SiC particles of different fractions.

The aim of the work is to study the change of microhardness and phase composition of the surface layer of brass LS59-1 during ultrasonic shock treatment in air using SiC particles of different fractions

Research methods - X-ray structural phase analysis, measurement of microhardness according to Vickers.

The results of research and their novelty - the possibility of synthesis by ultrasonic shock treatment of high-strength composite coatings of deformation origin with higher, compared to similar conditions of surface treatment of brass LS59-1 mechanical properties.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	10
1.1 Висновки до розділу 1.....	15
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	16
2.1 Ультразвукове ударне обробляння (УЗУО)	16
2.2 Методика вимірювання мікротвердості за Вікерсом	18
2.3 Рентгеноструктурний фазовий аналіз	20
2.4 Дослідження поверхні на електронному мікроскопі	23
2.5 Висновки до розділу 2	25
3 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	26
3.1 Мікромеханічні характеристики композиційних покриттів сформованих на поверхні латуні ЛС59-1 після УЗУО	26
3.2 Фазовий склад поверхневих шарів латуні ЛС59-1 після обробки з використанням армуючих часток	27
3.3. Висновки до розділу 3	40
4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	41
4.1. Опис ідеї проекту	41
4.2 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження.....	41
4.2.1 Визначення заробітної плати персоналу	42
4.2.2 Визначення розміру єдиного соціального внеску	44
4.2.3 Визначення вартості матеріалів	44
4.2.4 Визначення вартості спеціального обладнання і приладів.....	44
4.2.5 Визначення витрат на службові відрядження.....	44
4.2.6 Визначення вартості робіт і послуг сторонніх організацій	44
4.2.7 Визначення інших прямих неврахованих витрат.....	45
4.2.8 Визначення накладних витрат	45
4.2.9 Визначення планової кошторисної вартості науково-дослідної роботи.....	45

4.3 Висновки до розділу 4	49
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	50
5.1 Правові та організаційні основи охорони праці.....	50
5.2 Аналіз наявності шкідливих та небезпечних виробничих факторів.....	51
5.2.1 Аналіз параметрів приміщення та мікроклімату.....	51
5.2.2 Повітря робочої зони.....	52
5.2.3 Шум	53
5.2.4 Вібрації	54
5.2.5 Електробезпека	55
5.2.6 Виробниче випромінювання	56
5.3 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці.....	56
5.3.1 Вимоги до організації робочого місця	56
5.3.2 Вентиляція	57
5.3.3 Аналіз освітлення приміщення	57
5.4 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях	58
5.4.1 Пожежна безпека	58
5.4.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях	59
5.5 Висновки до розділу 5.....	60
ВИСНОВКИ	61
CONCLUSIONS.....	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	63

ВСТУП

Створення конструкційних матеріалів нового покоління з поліпшеними функціональними властивостями для роботи в умовах комбінації силових та температурних полів, впливу агресивних середовищ, глибокого вакууму, високого тиску тощо є актуальним завданням сучасного матеріалознавства [1]. Проте зазвичай постає необхідність отримання з'єднань типу «метал—метал» (навіть у разі взаємної нерозчинності), «метал (стоп)—оксид», «метал (стоп)—неметал (наприклад, вуглецеві нанотрубки)», саме у приповерхневих шарах виробів. Метода механічного легування, яка полягає у спресовуванні, подрібненні і наступному з'єднанні порошків і лігатури шляхом механічного впливу, найчастіше, здійснюється за використання різного обладнання для подрібнення за допомогою куль: вібраційних та планетарних млинів, високошвидкісних змішувачів тощо.

Процеси механічного легування використовуються для одержання жароміцних та жаротривких стопів [2]. Проте дана методика досить довготривала і використовується, як правило, для обробки порошків металів, оскільки не дозволяє ефективно здійснювати модифікацію поверхні готових деталей та конструкцій. Тому нині інтенсивно розвиваються методики механічного легування з використанням методів інтенсивної пластичної деформації (ІПД). За умов ІПД домінуюча роль у перерозподілі атомів поверхневого шару та в об'ємі матеріалу, процесах фазоутворення і формуванні необхідних фізико-хімічних властивостей металевих матеріалів належить процесам аномального масоперенесення за низьких температур. Одним з найбільш ефективних методів модифікації поверхні та формування високоміцних композиційних покриттів є технологія ультразвукового ударного оброблення (УЗУО). Дослідження впливу ультразвуку на структуру та властивості металів і стопів показали, що інтенсивні коливання кристалічної ґратниці, які збуджуються під дією ультразвуку, супроводжуються значними знакозмінними напруженнями та деформаціями. При цьому починається рух дислокацій та їх взаємодія, що обумовлює збільшення густини дислокацій і

концентрації точкових дефектів. Застосування УЗУО для дослідження масоперенесення викликає значний інтерес, оскільки зразки піддаються багатократному імпульсному впливу з великою частотою, що може суттєво змінити динаміку процесу, а також характер розподілу атомів, які дифундують.

В даній роботі буде досліджено використання методу УЗУО для виготовлення покриттів на поверхні латуні ЛС-59-1. Та в подальшому їх використання.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

Серед методів ІПД поверхневих шарів металевих матеріалів одним з найбільш ефективних є метод ультразвукового ударного оброблення (УЗУО).

Зміцнення за допомогою УЗУО має ряд суттєвих переваг – експресність, висока ефективність, можливість оброблення готових виробів та конструкцій різної геометричної форми. До переваг УЗУО слід віднести також можливість створення поверхневого або об'ємного наклепу для певного класу деталей, а також їх комбінації. Одночасно досягається оптимальний розподіл внутрішніх напружень у металі і такий структурний стан, при якому вдається підвищити в 2—3 рази запас міцності деталей, які працюють за умов знакозмінних навантажень, а також підвищити строк їхньої служби в десятки разів.

На відміну від, так званого, методу безабразивного ультразвукового фінішного оброблення (БУФО) [1], що використовує безперервні ультразвукові вібрації ультразвукового перетворювача з наконечником з твердого матеріалу (загартованих сталей, вольфрам кобальтових твердих стопів, штучного діаманту і т.п.), який безперервно контактує з оброблюваною поверхнею, в методі УЗУО поверхня деформується за рахунок багатократної ударної дії проміжних ударників із загартованої сталі, розташованих між торцем концентратора і оброблюваною поверхнею. Внаслідок обох видів ультразвукового оброблення (БУФО і УЗУО) поверхневий шар інтенсивно деформується, в ньому відбувається істотне подрібнення зернистої структури і перерозподіляються залишкові внутрішні напруження [2].

Однак, суттєва різниця полягає в значно вищій інтенсивності оброблення та більшій товщині модифікованого поверхневого шару, характерних для УЗУО, завдяки вищим значенням застосованої кінетичної енергії ударних навантажень.

Встановлено, що вплив УЗУО на металеві матеріали може призводити до виникнення нерівноважної структури, зародження і руху як точкових (вакансії і міжвузлові атоми), так і лінійних дефектів (дислокації, дисклінації). Це, як

правило, супроводжується збільшенням рухливості атомів, в тому числі і домішок, хоча зі збільшенням тривалості УЗУО значення ефективних коефіцієнтів дифузії домішкових атомів виходять на насичення [2]. Крім пришвидшення дифузійних процесів, при УЗУО спостерігається інтенсифікація формування фаз, які можуть істотно відрізнятися від сформованих у рівноважних умовах як за хімічним станом, так і за структурою. Потужні УЗ-коливання є ефективним способом генерації точкових дефектів, що утворюються внаслідок взаємодії дислокацій. А відношення концентрації вакансій до густини дислокацій може бути в декілька разів більшим, ніж при статичній деформації, внаслідок чого УЗУО чинить істотний вплив на дифузійно контрольовані процеси, особливо, на фазові перетворення. Зміна густини дислокацій і концентрації точкових дефектів, пришвидшення дифузії при УЗУО спричиняють зміни характеристик міцності та пластичності металевих матеріалів, що може бути використано в промисловості для зміцнення різних деталей.

Методика УЗУО була успішно застосована для: алюмінієвого сплаву Д16 та армко-Fe.

Доведено можливість механічного легування поверхневих шарів алюмінієвого сплаву Д16 та армко-Fe шляхом їх спільного ультразвукового ударного оброблення в інертному середовищі за умов квазігідростатичного стиснення. Показано, що збільшення мікротвердості поверхні стопу Д16 ультразвуковим ударним оброблення за умов контакту із пластиною армко-Fe (в порівнянні з вихідним станом стопу Д16 обумовлене синергетичним впливом наступних факторів: зменшенням розміру ОКР, збільшенням рівня мікродеформації кристалічної ґратниці та механохімічною взаємодією Al з Cu та Fe в процесі деформації).

Результати досліджень можуть стати фізичною основою для розробки нової технології поверхневого легування легких конструкційних стопів за допомогою ультразвукового ударного оброблення. В подальшому планується здійснити варіювання режимів УЗУО у широких межах для з'ясування

можливості формування інтерметалідів системи Fe—Al—Cu у приповерхневих шарах стопу Д16 та їх ідентифікації методом рентгеноструктурної аналізи, визначення товщини модифікованих шарів, а також розробити модельні уявлення щодо механізмів масоперенесення в процесах механічного легування ультразвуковим ударним обробленням.

Методика УЗУО була успішно застосована до: метастабільної S-фази (Al_2CuMg). Запропоновано спосіб ультразвукової ударної модифікації легких конструкційних сплавів на основі створення умов квазігідростатичного ударного стиснення зразка та варіювання середовища оброблення. На прикладі дисперсійно-зміцнюваного алюмінієвого стопу Д16 показано, що запропонований спосіб дозволяє в широких межах змінювати поверхневу мікротвердість в межах (3—12) ГПа та підвищувати рівень зносостійкості до 3 разів.

Методика УЗУО була успішно застосована до: аустенітної сталі 12Х18Н10Т.

Обговорюючи можливі причини зміцнення поверхневих шарів латуні ЛС59-1 за умов УЗУО на повітрі та в середовищі аргону слід враховувати ряд наведених нижче факторів. У першу чергу, отримані дані та оцінки свідчать, що зразки у двох випадках перебувають у дещо різних умовах у плані температурного режиму, що викликано суттєвим деформаційним розігріванням, з одного боку, та деяким охолодженням поверхні під час подачі струменя холодного газу аргону. Оцінки підвищення температури у деформованому поверхневому шарі латуні ЛС59-1 згідно виразу та з урахуванням експериментально визначених величин твердості (границі плинності) та ступеня деформації, а також табличних значень густини, питомої теплоємності та тепловідведення для випадків УЗУО в аргоні та на повітрі дають $\Delta T \cong 550\text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta T \cong 370\text{ }^\circ\text{C}$, відповідно. Як наслідок, у поверхневих шарах за умов УЗУО у різних середовищах спостерігається різна ступінь деформації через різні температури поверхневого шару та можливий прояв ефекту надпластичності у випадку суттєвого деформаційного розігрівання на зразок

спостережуваного при інтенсивному терті в роботі [5], де розігрівання поверхні $\alpha + \beta$ латуні до температур $> 400^\circ\text{C}$ призводило до інтенсивного подрібнення зерен, явища надпластичності та зміцнення поверхневого шару.

Не можна не розглянути серед можливих причин зміцнення механохімічні реакції окиснення або утворення інтерметалідних сполук типу шпінелей (MexFe_2O_3), які можуть відбуватися за умов УЗУО на повітрі, що раніше спостерігалось у випадку УЗУО на повітрі титанового стопу ВТ6 [8, 36], або алюмінієвого стопу Д16 залізним бойком [28, 37]. Однак, у нашому випадку результати мікро-рентгеноспектрального аналізу засвідчують, що в латуні ЛС59-1 процеси окиснення поверхні майже не відбуваються. Тобто, цей чинник у даному випадку не діє.

Інший можливий фактор, який також пов'язаний із ступенем пластичної деформації поверхневих шарів за різних умов УЗУО, — вплив текстури [8]. Рентгенівський дифракційний аналіз підтвердив, що відбувається певна переорієнтація площин поверхневих зерен. Це також можна спостерігати на РЕМ зображеннях поперечних перерізів деформованих зразків. Виникнення переважних орієнтацій зерен у ГЦК-металах за рахунок розвороту площин ковзання $\{111\}$ перпендикулярно до прикладеної сили показано за умов деформації стисненням, в тому числі за багатократного ударного стиснення при УЗУО та кріопротатки. У даній роботі про це свідчить зростання відношення інтенсивностей $I(111)/I(200)$ рентгенівських максимумів $(111)\alpha$ і $(200)\alpha$ з 3,08 у вихідному стані до 3,3 і 4,0 після УЗУО в аргоні та на повітрі, відповідно.

Результати рентгенівського фазового аналізу зразків латуні ЛС59-1 після УЗУО в різних середовищах свідчать, що вони залишаються двофазними, як і у вихідному стані (хоча фіксуються і рефлекси свинцю слабкої інтенсивності). Проте, рентгенівські дослідження поверхневого шару з використанням геометрії «ковзаючого променя», показали, що відбувається перерозподіл інтенсивностей рефлексів від α - та β -фаз та зміни кількісного фазового складу, що підтверджує дані РЕМ. Кількість β -фази у поверхневому шарі зразка латуні після УЗУО на повітрі знижується до 7,3 % після УЗУО в аргоні до 15,1 % у

порівнянні на поверхні зразка та з $\cong 45\%$ у вихідному зразку. Тобто, кількість β -фази в першому випадку зменшується до міжзеренних прошарків в α -фаз. Поява залишкових макронапружень стиснення різної величини $\cong 470$ МПа і 350 МПа у зразках після УЗУО на повітрі та в аргоні, відповідно) також сприяє деякій різниці у зміцнення зразків у різних середовищах.

Таким чином, зазначені фактори, а саме – зменшення розмірів кристалітів, зміна співвідношення фазових складових, поява макронапружень стиснення та формування текстури, можуть давати внесок у спостережуване зміцнення поверхневого шару латуні ЛС59-1 впродовж УЗУО в різних середовищах. Отримані результати свідчать про те, що домінуючими чинниками значно більшого зростання величини мікротвердості після обробки на повітрі, ніж в інертному середовищі, є зміна співвідношення фазових складових, макронапружень стиснення та формування текстури.

1. Встановлено кореляцію між механічними властивостями (мікротвердістю) та структурно-фазовим станом аустенітної сталі 12Х18Н10Т після інтенсивної пластичної деформації за допомогою ультразвукового ударного оброблення впродовж різного часу і у різних середовищах (температурах), а саме, на повітрі, у газі аргоні та у рідкому азоті.

2. Показано, що еволюція мікротвердості поверхні з часом (ступенем деформації поверхневого шару) має циклічний характер (зміцнення/знеміцнення) за умов УЗУО на повітрі, параболічний — при обробленні в газі аргоні та сигмоподібний — за умов криогенної УЗУО (в рідкому азоті). Ці відмінності пов'язані з інтенсивністю та послідовністю перебігу структурних і мартенситних перетворень.

3. Зафіксоване після УЗУО на повітрі та в аргоні додаткове формування нетипових комірчастих структур з розміром комірок (200–700) нм, крім звичних для аустенітних сталей двійників, зсувних смуг і плоских дислокаційних скупчень, забезпечує величину мікротвердості на рівні $\cong 4$ ГПа.

4. Максимальні значення мікротвердості поверхні сталі 12Х18Н10Т

(5–5,66) ГПа одержано після кріогенної УЗУО завдяки формуванню максимальної з досліджених випадків об'ємної частки α' -мартенситу $\cong 53\%$, нанорозмірам зерен α' -мартенситу 24 нм та аустеніту 45 нм, а також утворених двійників (60–120) нм. Це зумовлено не лише низькою величиною енергії дефектів пакування $\cong 30$ мДж/м², а й застосованими умовами УЗУО (висока швидкість деформації $\cong 103$ та кріогенні температури (77 К), що визначають параметр Зенера–Холомона $\ln Z = 26$, який значно перевищує його значення для випадків УЗУО на повітрі й у аргоні — 15 і 17 відповідно.

1.1 Висновки до розділу 1

1. Зміцнення за допомогою УЗУО має ряд суттєвих переваг — експресність, висока ефективність, можливість оброблення готових виробів та конструкцій різної геометричної форми.

2. Встановлено, що вплив УЗУО на металеві матеріали може призводити до виникнення нерівноважної структури, зародження і руху як точкових (вакансії і міжвузлові атоми), так і лінійних дефектів (дислокації, дисклінації).

3. При УЗУО спостерігається інтенсифікація формування фаз, які можуть істотно відрізнитися від сформованих у рівноважних умовах як за хімічним станом, так і за структурою

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В даній роботі при дослідженні покриттів на поверхні латуні ЛС59-1, використовувались декілька методів, а саме: нанесення покриття ультразвуковим ударним оброблянням, вимірювання мікротвердості за Віккерсом, рентгеноструктурний фазовий аналіз та дослідження структури поверхні на електронному мікроскопі.

В подальшому розділі ми розглянемо та коротко опишемо кожен із методів, які використовуються в даній курсовій роботі.

2.1 Ультразвукове ударне обробляння (УЗУО)

Методи ультразвукової ударної обробки (УЗУО) належать до методів інтенсивної пластичної деформації під дією механічних контактних впливів проміжними ударними елементами із високою частотою $\sim (1 - 2)$ кГц, джерелом яких є ультразвукові коливання частотою близько 20 кГц [25, 26]. Зазвичай методи УЗУО застосовуються для покращення комплексу властивостей зварних з'єднань та зміцнення частин конструкцій, що відіграють роль концентраторів напружень. Загалом дослідження впливу ультразвуку великої інтенсивності розпочалося ще в 70-х роках минулого століття [4]. З кожним роком ультразвукова обробка відкривала ряд перспектив у застосуванні. Така популярність даної обробки пояснюється багатократним ударним навантаженням поверхні оброблюваної деталі, внаслідок якого відбуваються процеси інтенсивного деформування та наклепу, що викликають суттєве зміцнення матеріалу та перебіг на його поверхні різноманітних фізичних явищ, наприклад, істотного підвищення рухливості атомів, тобто процесів аномального масопереносу [4, 5]. Внаслідок великої кількості експериментів та досліджень УЗУО було виявлено ряд переваг для зміцнення конструкцій та агрегатів [5]: 1) висока швидкість та легкість застосування; 2) можливість обробки конструкцій у важкодоступних місцях та деталей складної форми; 3) можливість значного подрібнення зерен, що можна використати при створенні

деталей із високим рівнем поверхневого або об'ємного наклепу. При всіх перевагах УЗУО дозволяє отримати вироби із підвищеним запасом міцності до декількох разів, внаслідок оптимального розподілу внутрішніх напружень по ньому. Дане явище використовується для збільшення ресурсу деталей (до 10 разів) високої 19 відповідальності, котрі працюють в умовах високих та знакозмінних навантажень [5, 6]. Це підтверджено в роботі [5], в якій встановлено, що УЗУО приводить до інтенсивної деформації поверхневого шару, значного подрібнення зеренної структури та перерозподілу внутрішніх напружень матеріалу. В роботі [7] досліджено вплив ультразвукової обробки на структурно фазові перетворення, які протікають при синтезі газотермічних покриттів системи NiCr-B-C-Si, а саме вивчення ультразвукового впливу у процесі оплавлення покриттів та дослідження впливу ультразвукової ударної обробки на структуру і властивості зварних з'єднань сталей. Основні результати досліджень [7, 8]: 1) суттєве підвищення мікротвердості завдяки ультразвуковому впливу при оплавленні покриттів з Ni-Cr-B-Si-C; 2) інтенсифікація процесів масоперенесення елементів покриття до матриці, особливо вуглецю та бору; 3) попереднє ультразвукове ударне обробляння матриці призводить до значного підвищення міцності та зносостійких властивостей утворених композиційних покриттів; 4) УЗУО зварних з'єднань сталей супроводжується значним подрібненням зерен у поверхневих шарах матеріалу до 6 разів та підвищенням механічних властивостей; 5) також процес УЗУО характеризується перерозподілом розтягуючих напружень величиною 150 МПа на стискаючі – 50 МПа. Як було вказано раніше метод ультразвукової ударної обробки характеризується безпосередньою взаємодією поверхні виробу із контактною частиною приладу. При цьому відбувається інтенсивний наклеп і деформація поверхні оброблюваного матеріалу та її розігрів (залежить від часу обробки) [8]. При цьому спостерігаються процеси подрібнення зерен та інтенсивного окиснення у випадку Cu. Основні результати досліджень [7, 8] засвідчили, що УЗУО в інертних середовищах аргону чи гелію приводить до модифікації дислокаційної структури та значного подрібнення зерен у

поверхневих шарах, навіть наноструктуризації, та інтенсифікації дифузійних процесів у металеву матрицю, що в свою чергу, підвищує значення величини мікротвердості до 2,5 разів та покращення зносостійкості. Аналогічні результати отримані при 20 обробці у середовищі рідкого азоту (відбувається підвищення мікротвердості до 5 разів порівняно із вихідним станом сплаву Д16). В цілому доведено можливість синтезу композитних покриттів із підвищеним ресурсом роботи в умовах тертя та покращеними механічними властивостями [5]. Робота [9] присвячена дослідженню впливу УЗУО на корозійну стійкість та опір до пластичного деформування цирконієвих біосумісних стопів. Основні результати дослідження: 1) УЗУО призводить до значного подрібнення зерен, тобто утворення нанорозмірної структури; 2) спостерігається зростання опору до пластичних деформацій (внаслідок наклепу) та підвищення корозійної стійкості. Ультразвукова ударна обробка також використовується в поєднанні з іншими методами покращення властивостей матеріалу, до прикладу, робота [10] присвячена дослідженню впливу лазерної термообробки в поєднанні із УЗУО на міцнісні характеристики інструментальної сталі AISI D2. Встановлено, що комбінована обробка приводить до формування ультрадисперсної структури розміром $\sim (80 - 250)$ нм з границями зерен зафіксованими дрібними вторинними карбідами розміром близько 20 нм. Така структура модифікованих шарів дозволяє підвищити значення мікротвердості та зносостійкості до 2 - 4 разів, а отже збільшити ресурс роботи агрегату. Варто додати, що лише комбінація лазерної термообробки та УЗУО приводить до суттєвого покращення механічних властивостей.

2.2 Методика вимірювання мікротвердості за Вікерсом

Вимірювання мікротвердості проводили за допомогою приладу ПМТ-3 за методом Віккерса. Метод ґрунтується на визначенні за допомогою мікроскопу лінійної величини діагоналі відбитку, який отримано в результаті втискання

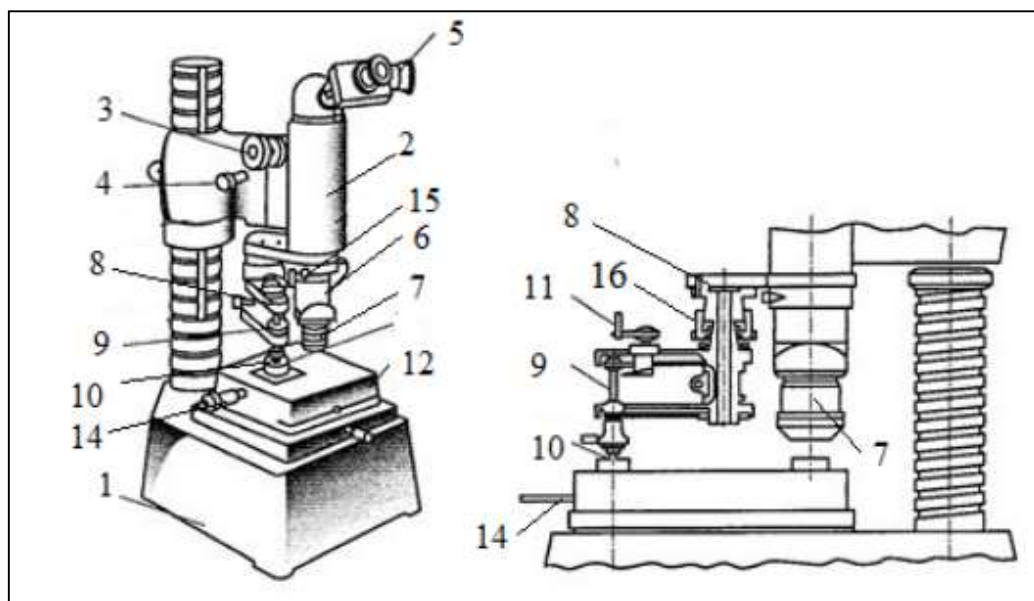
алмазної пірамідки, з кутом при вершині 136° , в досліджуваний матеріал під певним навантаженням.

Розглянемо будову приладу (рис. 2.1). Прилад складається з основи зі штативом 1, на якому закріплений мікроскоп з тубусом 2, що переміщується вгору і вниз за допомогою макрометричного гвинта 3 і мікрометричного гвинта 4. Ціна поділки барабанчика мікрогвинта дорівнює 0,002 мм. На верхній кінець тубуса надітий окулярний мікрометр 5. Окуляр МОВ–1-15 збільшує в 15 разів. В нижній частині тубуса монтується вся оптична система мікроскопу з освітлювачем 6 та об'єктивом 7. Освітлювачем є лампочка напругою 6 В, що живиться від електромережі через трансформатор. Прилад забезпечений двома об'єктивами для проглядання мікрошліфа при збільшеннях в 478 і 135 разів. З тубусом мікроскопу з'єднаний навантажувальний блок 8. В ньому є стрижень для розміщення навантажувачів 9, внизу якого закріплений тримач з індентором 10. Робоче навантаження створюється навантажувачами, які по одному, або одразу декілька можна одягати на стрижень 9. Піднімання та опускання навантаженого індентора виконується за допомогою ручки 11. Навантаження здійснюється протягом (15-30) с, а потім плавно знімається.

Досліджуваний зразок розміщують на предметному столику 12. За допомогою двох гвинтів 13 столик зі зразком переміщується в двох перпендикулярних напрямках, що дозволяє пересувати мікрошліф і вибирати на ньому ділянку, на якій необхідно виміряти мікротвердість. Цю ділянку потрібно розмістити в середині поля зору мікроскопа – точно у вершині кута нерухомої сітки окуляра.

За допомогою ручки 14 столик зі зразком можна повертати таким чином, щоб зразок потрапив під індентор, чи під окуляр мікроскопу.

В процесі юстування мікротвердоміру необхідно правильно розташувати мікроскоп по відношенню до навантажуючого пристрою. Це виконується за допомогою центрувальних гвинтів 15.



- 1 – основа зі штативом; 2 – тубус; 3 – макрометричний гвинт;
 4 – мікрометричний гвинт; 5 – окулярний мікрометр; 6 – освітлювач;
 7 – об'єктив; 8 – навантажувальний блок; 9 – стрижень для навантажувачів;
 10 – індентор; 11 – ручка навантаження; 12 – предметний столик;
 13 – регулювальні гвинти; 14 – ручка повороту предметного столика;
 15 – центрувальні гвинти; 16 – тарувальний пристрій

Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд та схема приладу ПМТ-3 для вимірювання мікротвердості

2.3 Рентгеноструктурний фазовий аналіз

В основу рентгеноструктурного аналізу покладено явище дифракції рентгенівських променів на кристалічній ґратці відкрите в 1912 р. М. Лауе і його колегами В. Фрідріхом та П. Кніппінгом у вигляді так званого інтерференційного рівняння Лауе, яке у векторній формі має вид:

$$(S-S_0)/\lambda=H, \quad (2.1)$$

де S_0 - одиничний вектор падаючого променя,

S - одиничний вектор променя, розсіяного в напрямку інтерференції,

λ - довжина хвилі,

H - вектор, перпендикулярний до деякого сімейства площин (hkl) в оберненій

гратці кристалу, причому довжина його пов'язана з міжплощинною відстанню цього сімейства (d_{hkl}) співвідношенням $|H|=n/d_{hkl}$, де n - ціле число (порядок відбиття).

За допомогою оберненої ґратки легко проаналізувати виникнення дифракційних піків у випадку монохроматичного випромінювання з довжиною хвилі λ . Якщо S_0 та S вектори падаючого та дифрагованого пучків в оберненому просторі, то сукупність кінців векторів оберненої ґратки, які становлять різницю ходу цих пучків, лежатиме на сфері радіусом λ^{-1} . Ця сфера називається сферою відбиття або сферою Евальда (рис. 2.2).

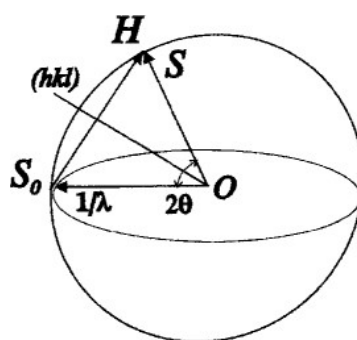


Рисунок 2.2 – Сфера Евальда радіусом λ^{-1} в оберненій ґратці кристалу

Умовою виникнення дифракційного піка з індексами hkl є перетин сферою Евальда вектора H_{hkl} оберненої ґратки. Вектори S/λ , S_0/λ і H утворюють векторний трикутник ΔOSS_0 (рис. 2.2), кут між векторами S і S_0 називається кутом розсіювання (2θ). Виходячи з векторного рівняння (2.1), шляхом простого геометричного розгляду ΔOSS_0 можна отримати скалярне рівняння:

$$2d\sin\theta=n\lambda \quad (2.2)$$

Виходячи з припущення, що рентгенівські промені можуть відбиватися від кристалографічних площин аналогічно відбиттю видимого світла від дзеркальних поверхонь з виконанням законів геометричної оптики, російський вчений Вульф і, незалежно від нього, англійці батько і син Брегг вивели це скалярне рівняння в 1913 році, яке одержало назву рівняння Вульфа-Брегга.

На основі цього рівняння базується принцип роботи всіх, дифрактометрів, в тому числі, і Ultima IV (рис. 2.3).



а



б

Рисунок 2.3 – Дифрактометр Ultima IV (а) та його гоніометр (б)
(радіус 285 мм)

Якісний та кількісний фазовий аналіз проведено з використанням програмного забезпечення PDXL, міжнародної бази даних дифракції ICDD (PDF-2) та відкритої бази кристалографічних даних COD. PDXL є інтегрованим

програмним комплексом для проведення рентгенофазового аналізу порошкових дифрактограм. Кількісний фазовий аналіз проведений методом RIR (Reference Intensity Ratio). Метод RIR полягає в порівнянні відношення інтенсивностей найбільш сильних рефлексів фази і корунду в їх суміші з масовими частками.

2.4 Дослідження поверхні на електронному мікроскопі

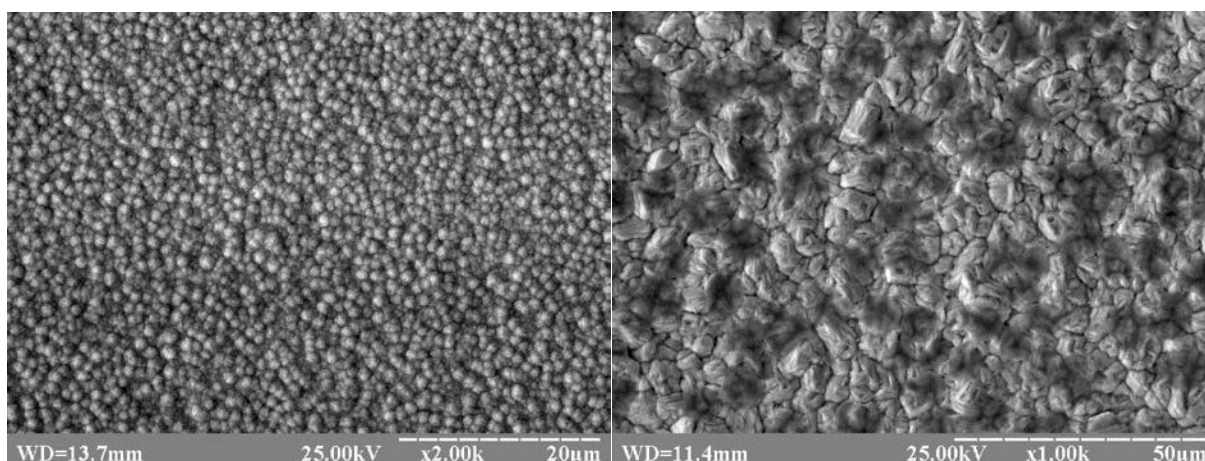
В даний час розроблені прямі методи одержання тривимірного зображення для аналізу і контролю морфології поверхні і дефектів поверхневих шарів матеріалів. Одним з них є дослідження зразка у растровому (скануючому) електронному мікроскопі (РЕМ) (рис. 2.4), який звичайно менше і простіше, ніж просвічуючий електронний мікроскоп (ПЕМ). Якщо для одержання зображення у просвічуючому електронному мікроскопі використовують електрони, що проходять через зразок, то в растровому електронному мікроскопі застосовуються електрони, що розсіюються чи випромінюються поверхнею зразка. Зразок сканується дуже вузьким пучком електронів. При цьому оцінюють кількість електронів, що розсіюються при опроміненні послідовних точок металевої поверхні. Отримане значення використовують для контролю інтенсивності другого променя, що рухається синхронно першому і формує зображення на телевізійному екрані. У такий спосіб відбувається формування єдиного, цілісного і значно збільшеного зображення[11].

Метод растрової електронної мікроскопії забезпечує значну глибину фокусування; більш того, оскільки масштаби розсіювання електронів визначаються кутом поверхні стосовно променя, на зображенні виникають світлі і темні ділянки, які йдуть по черзі, що створює враження тривимірності (рис. 2.5). Але цей метод застосовується тільки для вивчення поверхні і його роздільна здатність порівняно невелика (близько 4 нм з ефективним збільшенням приблизно у 20 000 крат). У РЕМ застосовуються електронні лінзи для фокусування електронного пучка в точку дуже малих розмірів. Можна відрегулювати РЕМ так, щоб діаметр точки в ньому не перевищував 0,2 нм, але, як правило, вона складає одиниці або десятки нанометрів. Ця точка безупинно

оббігає деяку ділянку зразка аналогічно лучу, який оббігає екран телевізійної трубки[12].



Рисунок 2.4 - Зовнішній вигляд растрового електронного мікроскопа РЭМ-106И



а

б

а – Cu, $\times 1000$; б – Ni, $\times 2000$

Рисунок 2.5 - Морфологія поверхні електрохімічних покриттів

Електричний сигнал, що виникає при бомбардуванні об'єкта електронами пучка, використовується для формування зображення на екрані телевізійного

кінескопу чи електронно-променевої трубки (ЕПТ), розгорнення якої синхронізовано із системою відхилення електронного пучка. Збільшення в даному випадку розуміється як відношення розміру зображення на екрані до розміру області, яку оббігає пучок на зразку. Це збільшення складає від 10 до 10 млн. Взаємодія електронів сфокусованого пучка з атомами зразка може приводити не тільки до їх розсіювання, що використовується для одержання зображення в просвічуючій електронній мікроскопії, але і до збудження рентгенівського випромінювання, випускненню видимого світла та емісії вторинних електронів. Крім того, оскільки перед зразком в РЕМ є тільки лінзи, які фокусують, він дозволяє досліджувати масивні зразки. Товщина зразків, досліджуваних цим методом, визначається проникаючою здатністю електронів або їхньою енергією. Вдосконалення методу призвело до створення високовольтних мікроскопів з напругою, що прискорює, до декількох млн вольт (проти 100 000 В у звичайних ПЕМ)[12].

2.5 Висновки до розділу 2

Оскільки сплави міді широко застосовуються для виготовлення деталей та виробів, як матеріал дослідження було обрано латунь ЛС59-1.

Обраний комплекс експериментальних методів дослідження в повній мірі дозволяє визначити структурні та мікромеханічні характеристики покриттів створених на поверхні латуні ЛС59-1 ультразвуковою ударною обробкою з використанням армуючи часток SiC.

3 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Мікромеханічні характеристики композиційних покриттів сформованих на поверхні латуні ЛС59-1 після УЗУО

Одним з перспективних напрямків сучасного матеріалознавства є створення зносостійких композиційних покриттів на поверхні металів та сплавів із застосуванням методів інтенсивної пластичної деформації (ІПД). Одним з найбільш ефективних методів ІПД, який дозволяє реалізувати даний підхід є метод УЗУО, який дає можливість формувати композиційні покриття на поверхні металів. Наприклад, авторами [10] досліджений вплив ультразвукової ударної обробки (УЗУО) в інертному середовищі на структуру, фазовий склад та мікромеханічні властивості композиційних покриттів, сформованих втіленням у поверхневі шари алюмінієвого сплаву Д16 дисперсних частинок зміцнюючих порошків Al_2O_3 , B_4C , BN та вуглецевих нанотрубок. Під дією інтенсивної пластичної деформації, спричиненої УЗУО, відбувається часткове подрібнення та втілення частинок порошків і процес наноструктуризації матричного сплаву з формуванням деформаційних композитних шарів. Максимальні зміцнення (200 - 350) % та зростання зносостійкості (в ~ 7 разів) поверхні сплаву Д16 спостерігаються за умов армування частинками Al_2O_3 і B_4C .

Для формування композитних покриттів шляхом УЗУО поверхні латуні ЛС59-1 використано дисперсні порошки SiC п'яти різних фракцій.

Результати вимірювання мікротвердості поверхневих шарів латуні ЛС59-1 у вихідному стані, після УЗУО на повітрі з амплітудою $A = 25$ мкм впродовж $\tau = 150$ с та після аналогічного режиму УЗУО із застосуванням армуючих частинок SiC різних фракцій наведено на рис. 3.1.

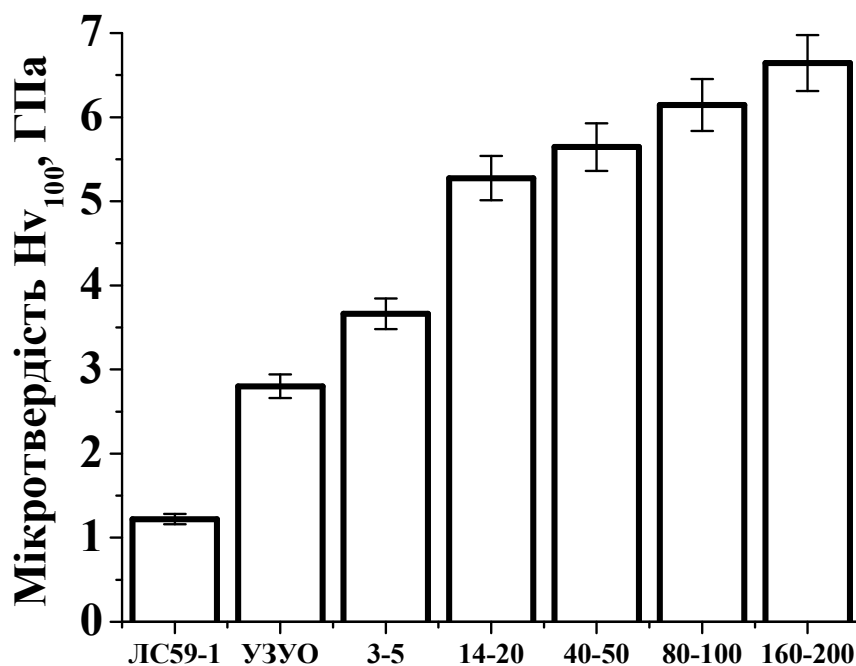


Рисунок 3.1 – Мікротвердість латуні ЛС59-1 у вихідному стані, після УЗУО на повітрі ($A=25$ мкм, $\tau=150$ с) та композиційних покриттів сформованих на поверхні латуні за тих самих умов із використанням армуючих порошків SiC різної фракції

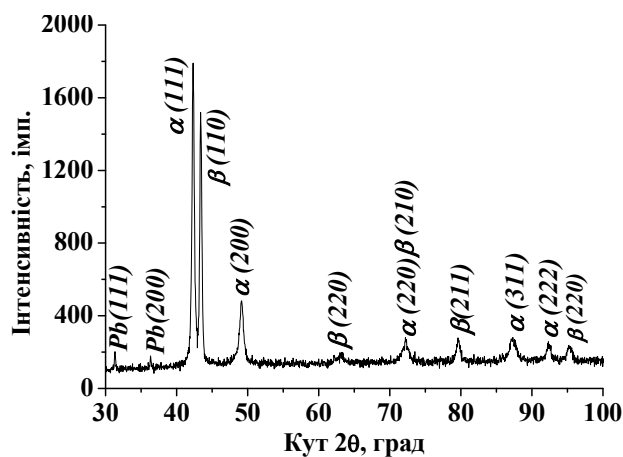
Мікротвердість одержаних композиційних покриттів для всіх розмірів армуючи часток перевищує значення, отримані за аналогічних режимів УЗУО без застосування порошків.

Як можна бачити з рис. 3.1 зі збільшенням розміру часток мікротвердість композиційного покриття зростає. Також можна зробити висновок, що використання часток з розміром фракції 3-5 мкм не є доцільним

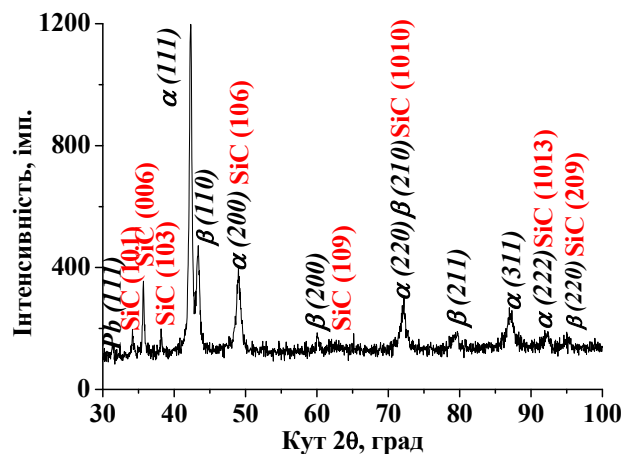
3.2 Фазовий склад поверхневих шарів латуні ЛС59-1 після обробки з використанням армуючих часток

Рентгенографічні дослідження зразків латуні ЛС59-1 у вихідному стані та після УЗУО на повітрі (рис. 3.2, а) показали наявність α -фази (Cu_2Zn), β -фази ($CuZn$) та свинцю.

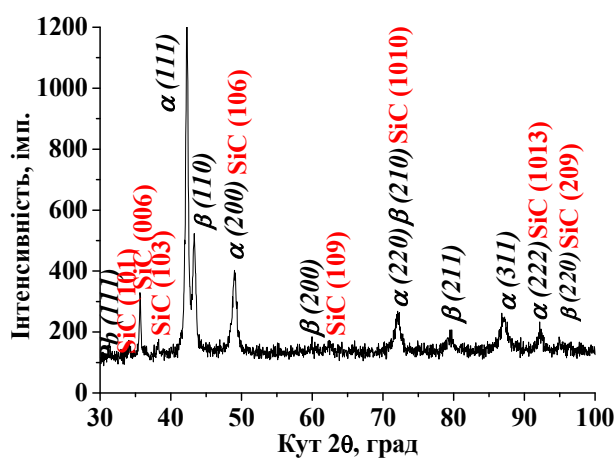
При обробці з використанням порошку SiC різних фракцій (рис. 3.2, б-е) крім рефлексів від α - та β -фаз латуні з'являються рефлекси від SiC.



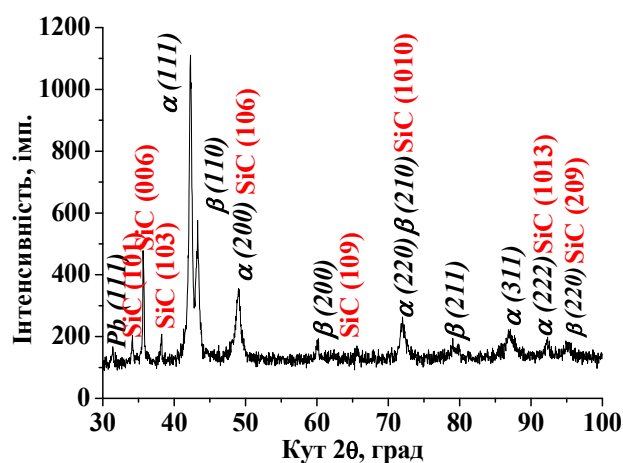
а



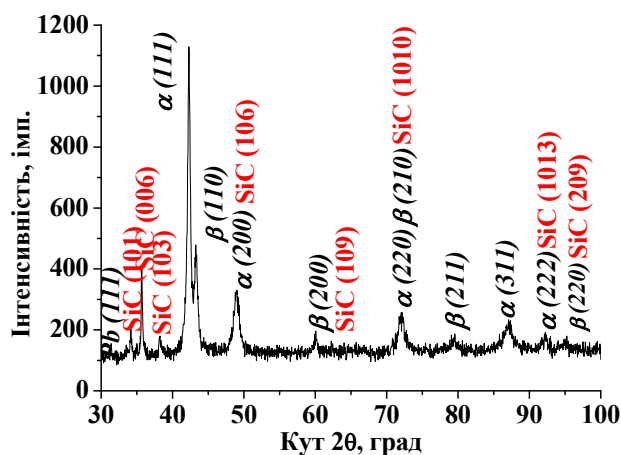
б



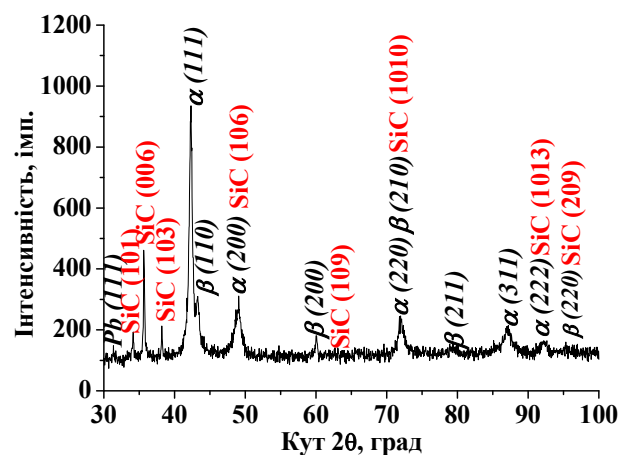
в



г



д

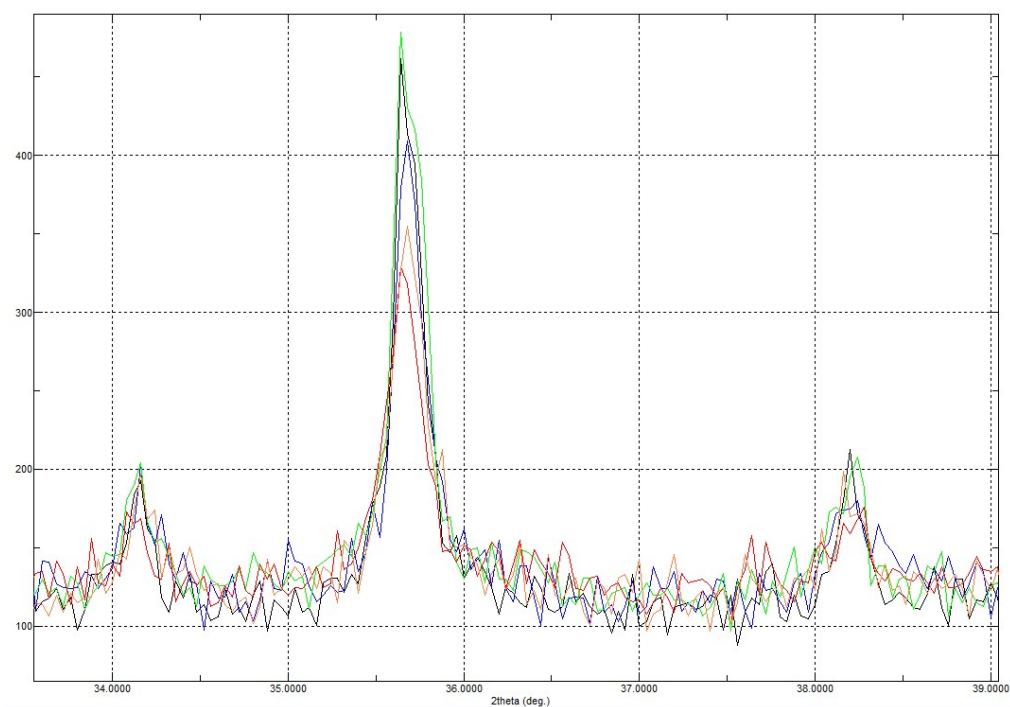


е

а – УЗУО на повітрі; б – УЗУО з порошком SiC ($d=3-5$ мкм); в – УЗУО з порошком SiC ($d=14-20$ мкм); г – УЗУО з порошком SiC ($d=40-50$ мкм); д – УЗУО з порошком SiC ($d=80-100$ мкм); е – УЗУО з порошком SiC ($d=160-200$ мкм) (тривалість обробки $\tau = 150$ с)

Рисунок 3.2 – Дифрактограми зразків латуні ЛС59-1

На рис. 3.3 наведено зміну інтенсивності рефлексу SiC (101) в композиційних покриттях синтезованих на поверхні латуні ЛС59-1 після УЗУО з порошком SiC різних фракцій.



- УЗУО з порошком SiC ($d=3-5$ мкм);
- УЗУО з порошком SiC ($d=14-20$ мкм);
- УЗУО з порошком SiC ($d=40-50$ мкм);
- УЗУО з порошком SiC ($d=80-100$ мкм);
- УЗУО з порошком SiC ($d=160-200$ мкм)

Рисунок 3.3 – Зміна інтенсивності рефлексу SiC (101)
(тривалість обробки $\tau = 150$ с)

Методом RIR (Reference Intensity Ratio) визначено кількісний фазовий склад композиційних покриттів синтезованих на поверхні латуні ЛС59-1 після УЗУО з порошком SiC різних фракцій.

Таблиця 3.1 – Кількісний фазовий склад композиційних покриттів синтезованих на поверхні латуні ЛС59-1 після УЗУО з порошком SiC різних фракцій

Назва фази	Розмір часток, мкм				
	3-5	14-20	40-50	80-100	160-200
α - фаза	54	58,3	42	55	56

Продовження таблиці 3.1

Назва фази	Розмір часток, мкм				
	3-5	14-20	40-50	80-100	160-200
β - фаза	28	20	32	17	15
SiC	17	21	25	27	28
Pb	1	0,7	1	1	1

Результати кількісного фазового аналізу свідчать, що зі збільшенням розміру армуючи часток вміст SiC в композиційному покритті зростає.

В таблиці 3.2 наведено зміну розміру областей когерентного розсіяння (ОКР) фазових складових композиційного покриттів синтезованих на поверхні латуні ЛС59-1 після УЗУО з порошком SiC різних фракцій.

Таблиця 3.2 – Розмір областей когерентного розсіяння (ОКР) фазових складових композиційного покриттів синтезованих на поверхні латуні ЛС59-1 після УЗУО з порошком SiC різних фракцій

Назва фази	Розмір ОКР, Å				
	3-5	14-20	40-50	80-100	160-200
α - фаза	94	107	86	96	69
β - фаза	131	133	126	104	56
SiC	198	140	81	128	126

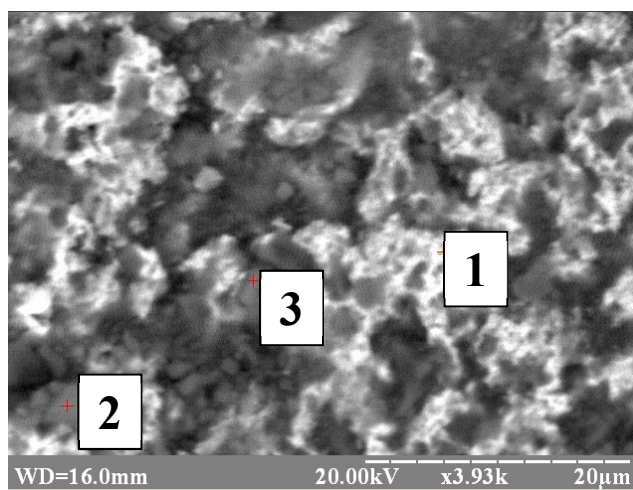
Результати наведені в табл. 3.2 свідчать, що зі збільшенням розміру армуючих часток відбувається більш суттєве подрібнення ОКР фазових складових латуні ЛС59-1.

На рис. 3.4 наведено морфологію поверхні та відповідний хімічний склад сформованих композиційних покриттів.

Після УЗУО з використанням армуючи часток SiC, розміром (3-5) мкм (рис. 3.4, а) відбувається формування композиційного покриття на поверхні латуні ЛС59-1. У цьому випадку на поверхні спостерігаються поодинокі розподілені глобулярні області темного кольору, які напевно є наслідком

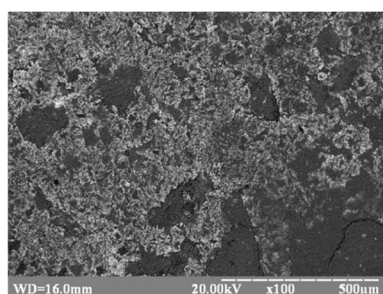
втілення за умов УЗУО порошків SiC. Результати енергодисперсійного аналізу хімічного складу поверхні повністю підтверджують це припущення.

Більш детальний аналіз мікроструктури поверхні (рис. 3.5) показав, що УЗУО з використанням часток SiC, розміром (3 – 5) мкм не дозволяє сформувати, по всій площі оброблюваної поверхні, суцільне покриття, оскільки спостерігаються досить значні за розміром ділянки латуні ЛС59-1.

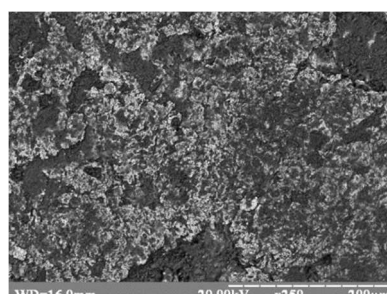


	Ваг. %		
Елемент	1	2	3
Si	9,88	39,56	40,13
Cu	40,61	4,89	7,36
Zn	31,58	2,95	4,42
Fe	0,2	0,31	0,3
O	3,01	4,69	4,49
C	12,64	47,34	43,1
S	2,08	0,26	0,2

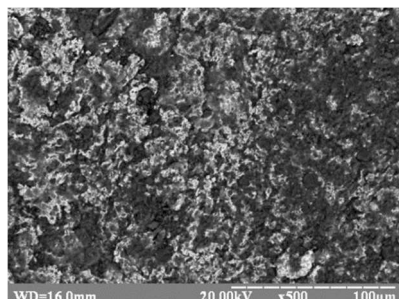
Рисунок 3.4 – Морфологія поверхні та хімічний склад композиційного покриття, сформованого з використанням часток SiC ($r \approx 3-5$) мкм



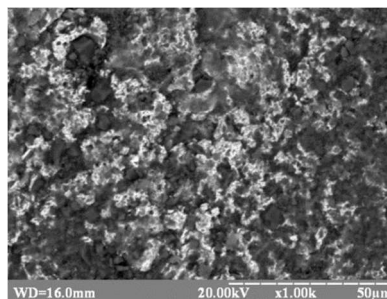
а



б



в



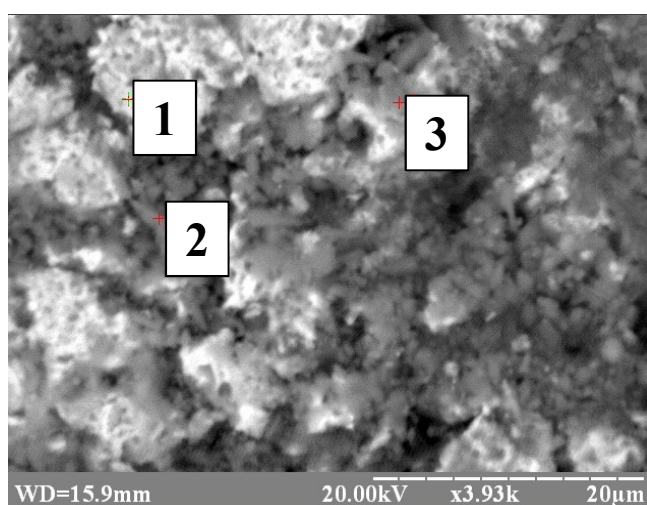
г

Рисунок 3.5 – Мікроструктура поверхні композиційного покриття, сформованого на поверхні латуні ЛС59-1, з використанням часток SiC ($r \approx 3-5$) мкм

На рис. 3.6 – 3.7 наведено морфологію поверхні та відповідний хімічний склад сформованих композиційних покриттів.

При УЗУО з використанням армуючи часток SiC, розміром (14-20) мкм (рис. 3.6, а) на поверхні спостерігається поодинокі розподілені глобулярні області темного кольору, які напевно є наслідком втілення за умов УЗУО порошків SiC. Результати енергодисперсійного аналізу хімічного складу поверхні повністю підтверджують це припущення.

Більш детальний аналіз мікроструктури поверхні (рис. 3.7) показав, що УЗУО з використанням часток SiC, розміром (14-20) мкм, на відміну від обробки з частинками порошку меншої фракції дозволяє сформувати більш рівномірне покриття по всій площі оброблюваної поверхні. Хоча все ще спостерігаються області поверхні латуні ЛС59-1.



	Вар. %		
Елемент	1	2	3
Si	9,56	44,31	40,39
Cu	49,71	7,19	15,6
Zn	29,13	4,91	11,57
Fe	0,02	0,74	0,56
O	2,33	4,69	3,01
C	9,25	37,66	27,67
S	0,76	0,5	1,2

Рисунок 3.6 – Морфологія поверхні та хімічний склад композиційного покриття, сформованого з використанням часток SiC ($r \approx 14-20$) мкм

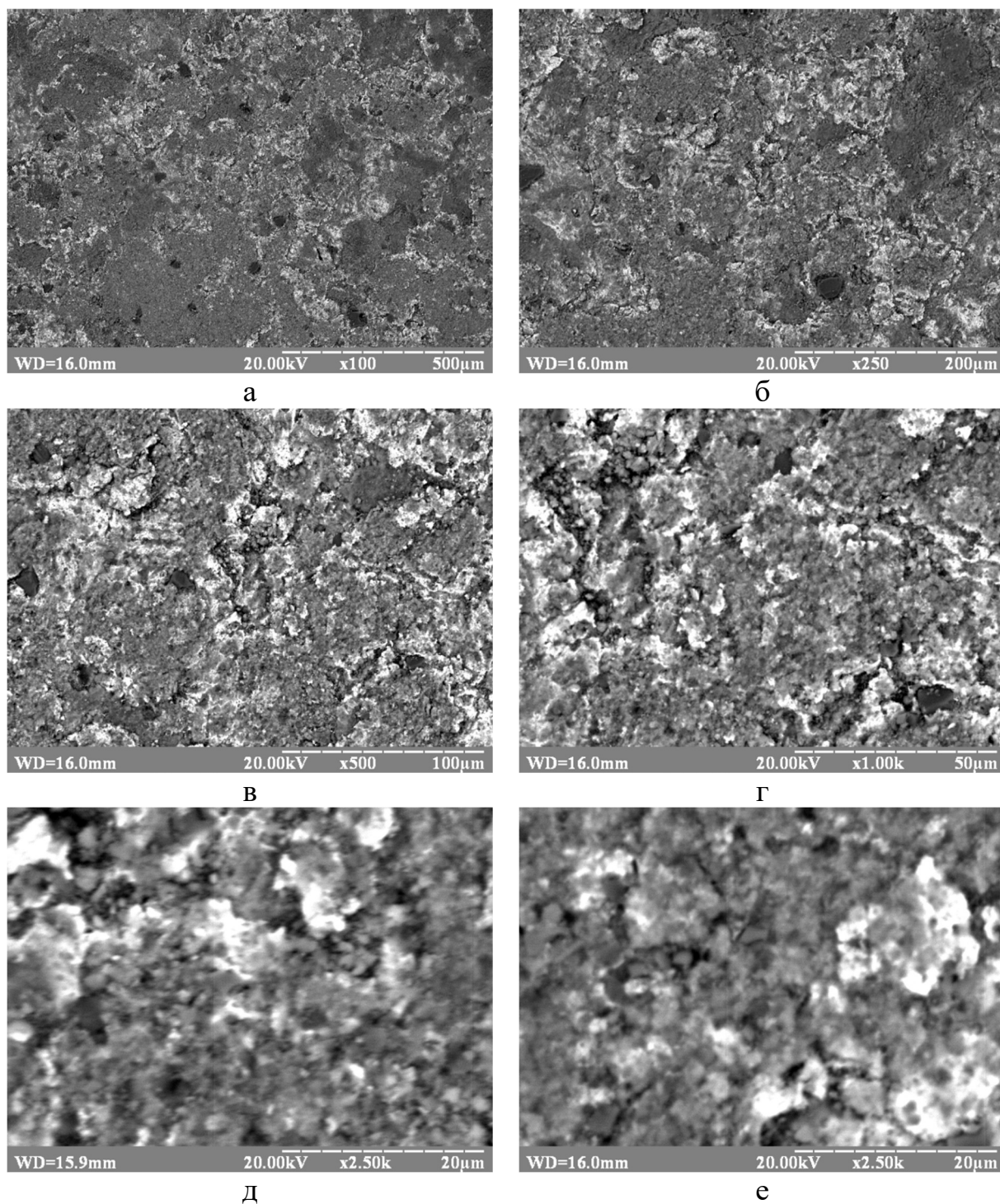
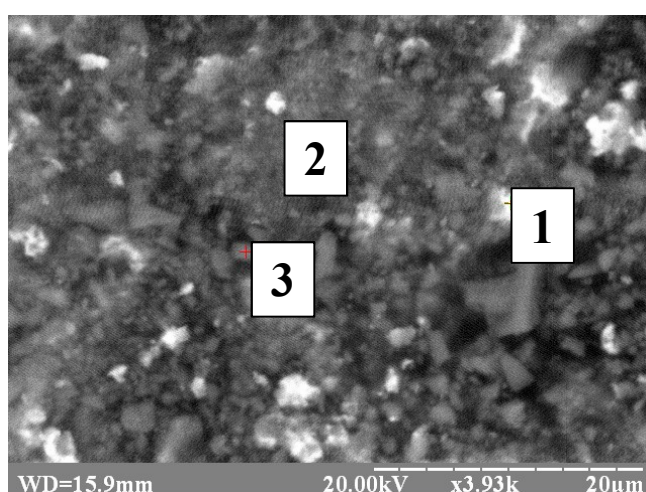


Рисунок 3.7 – Мікроструктура поверхні композиційного покриття, сформованого на поверхні латуні ЛС59-1, з використанням часток SiC ($r \approx 14-20$) мкм

На рис. 3.8 – 3.9 наведено морфологію поверхні та відповідний хімічний склад сформованих композиційних покриттів.

При УЗУО з використанням армуючи часток SiC, розміром (40-50) мкм (рис. 3.8, а) на поверхні спостерігається поодинокі розподілені глобулярні області темного кольору, які напевно є наслідком втілення за умов УЗУО порошків SiC. Результати енергодисперсійного аналізу хімічного складу поверхні повністю підтверджують це припущення.

Більш детальний аналіз мікроструктури поверхні (рис. 3.9) показав, що УЗУО з використанням часток SiC, розміром (14-20) мкм, на відміну від обробки з частинками порошку меншої фракції дозволяє сформувати більш рівномірне покриття по всій площі оброблюваної поверхні. Хоча все ще спостерігаються області поверхні латуні ЛС59-1.



Елемент	Ваг. %		
	1	2	3
Si	11,35	38,96	33,3
Cu	25,85	2,27	1,35
Zn	15,69	1,42	0,76
Fe	0,21	1,24	0,52
O	1,27	4,41	1,17
C	45,54	51,63	62,7
S	0,09	0,07	0,2

Рисунок 3.8 – Морфологія поверхні та хімічний склад композиційного покриття, сформованого з використанням часток SiC ($r \approx 40-50$) мкм

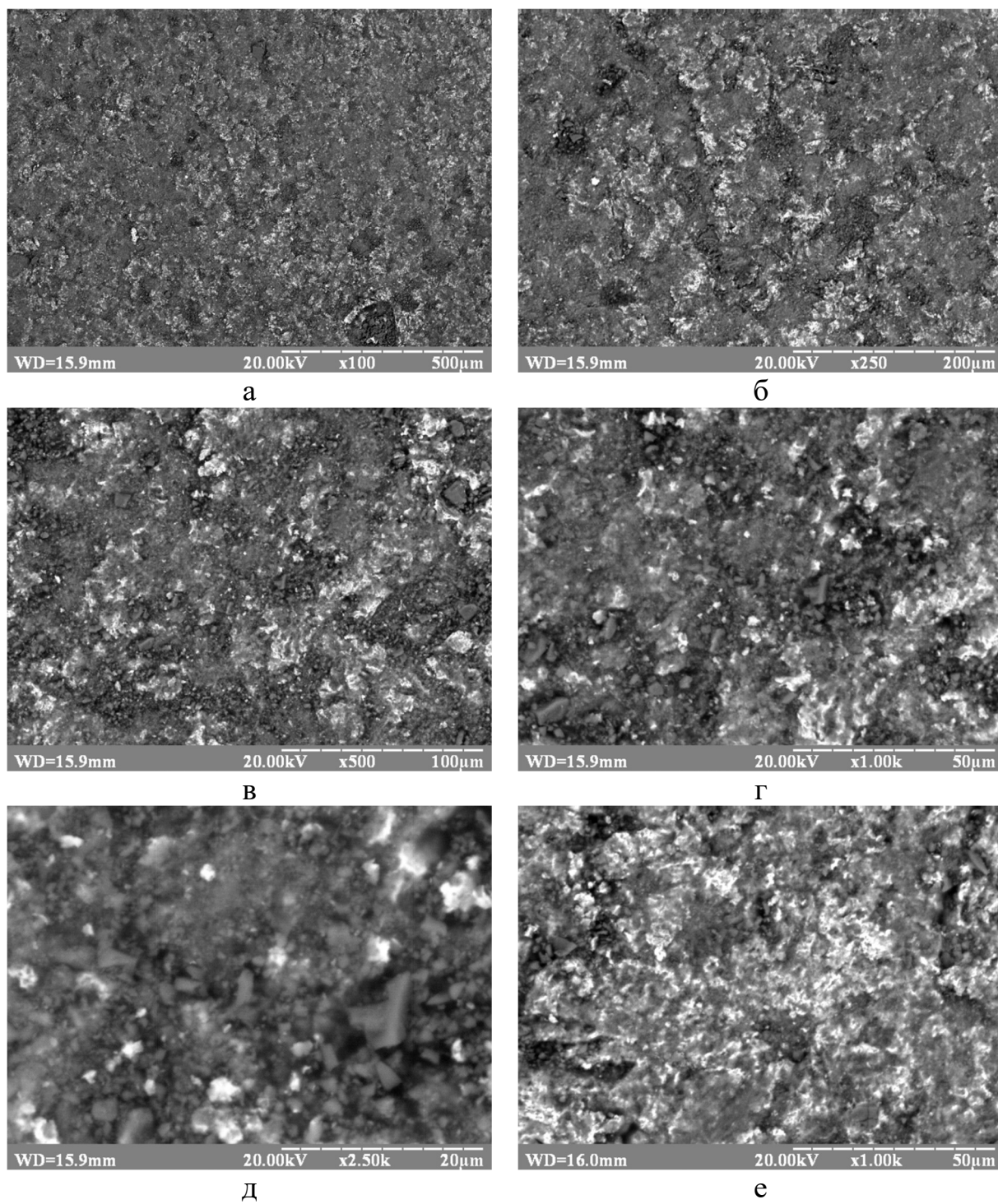
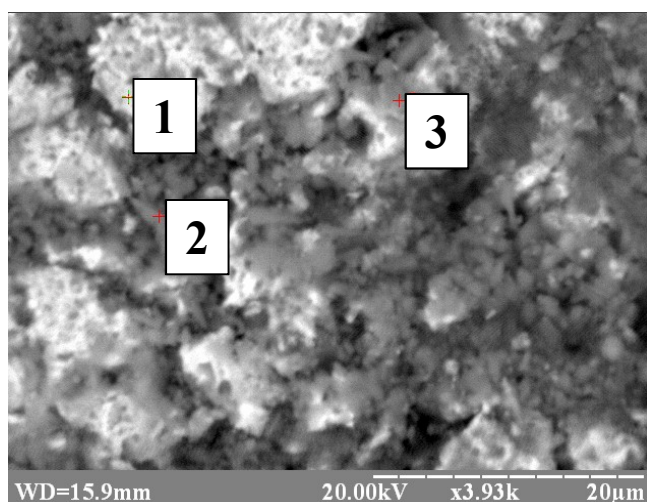


Рисунок 3.9 – Мікроструктура поверхні композиційного покриття, сформованого на поверхні латуні ЛС59-1, з використанням часток SiC ($r \approx 40-50$) мкм

На рис. 3.10 – 3.11 наведено морфологію поверхні та відповідний хімічний склад сформованих композиційних покриттів.

При УЗУО з використанням армуючи часток SiC, розміром (80-100) мкм (рис. 3.10, а) на поверхні спостерігається поодинокі розподілені глобулярні області темного кольору, які напевно є наслідком втілення за умов УЗУО порошинок SiC. Результати енергодисперсійного аналізу хімічного складу поверхні повністю підтверджують це припущення.

Більш детальний аналіз мікроструктури поверхні (рис. 3.11) показав, що УЗУО з використанням часток SiC, розміром (80-100) мкм, на відміну від обробки з частинками порошку меншої фракції дозволяє сформувати більш рівномірне покриття по всій площі оброблюваної поверхні. Хоча все ще спостерігаються області поверхні латуні ЛС59-1.



	Вар. %		
Елемент	1	2	3
Si	9,56	44,31	40,39
Cu	49,71	7,19	15,6
Zn	29,13	4,91	11,57
Fe	0,02	0,74	0,56
O	2,33	4,69	3,01
C	9,25	37,66	27,67
S	0,76	0,5	1,2

Рисунок 3.10 – Морфологія поверхні та хімічний склад композиційного покриття, сформованого з використанням часток SiC ($r \approx 80-100$) мкм

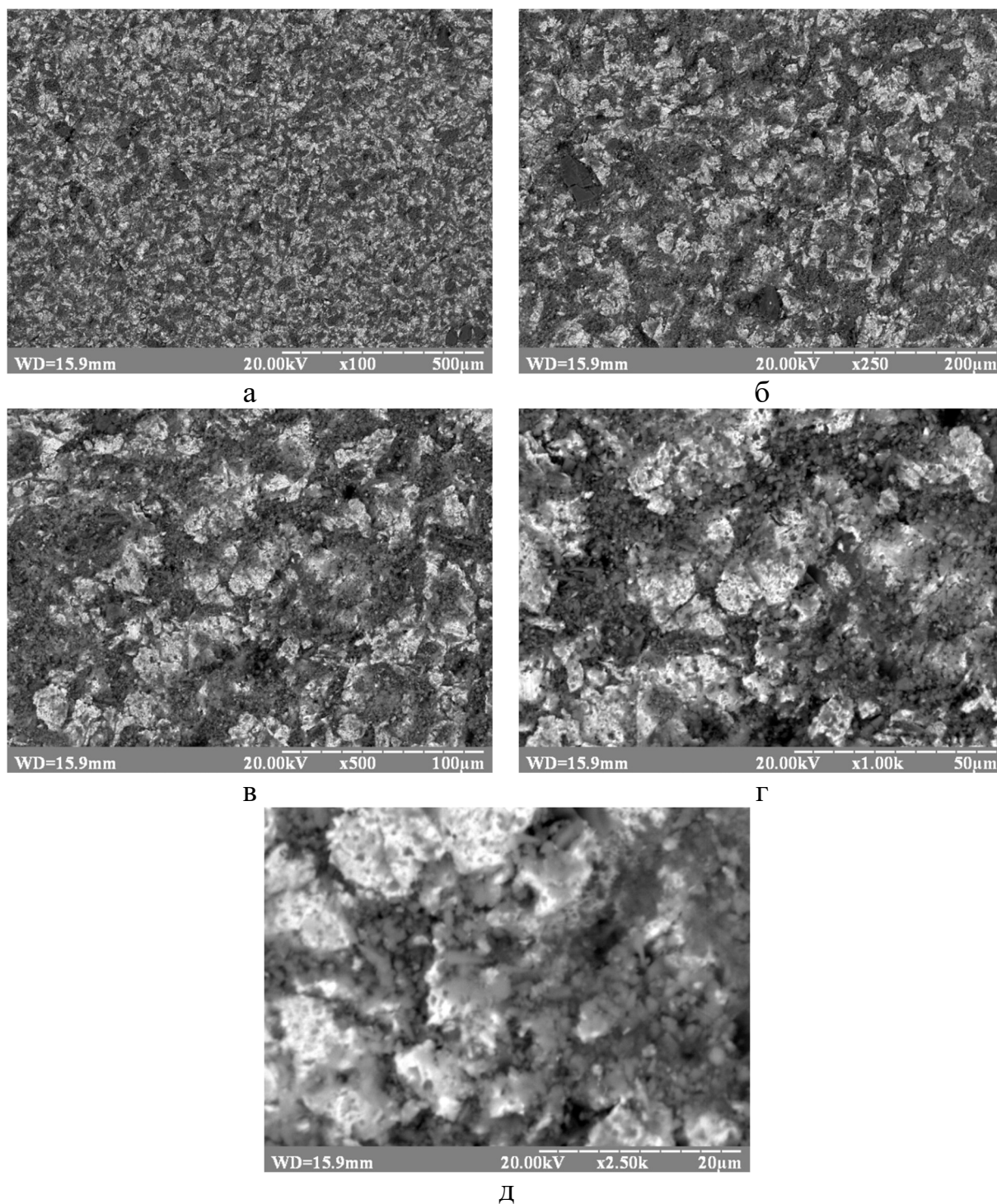
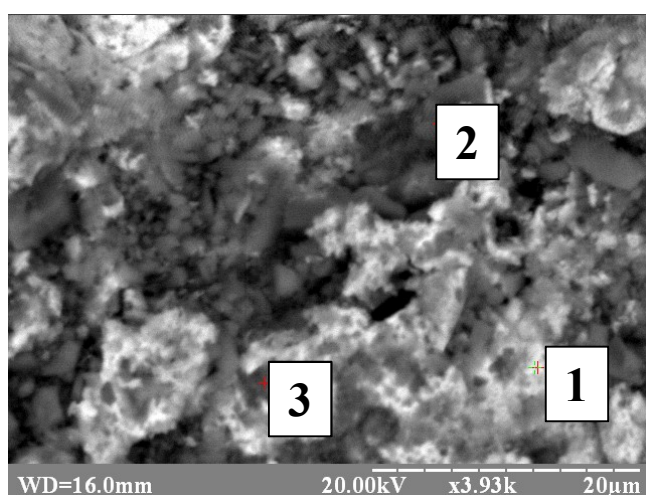


Рисунок 3.11 – Мікроструктура поверхні композиційного покриття, сформованого на поверхні латуні ЛС59-1, з використанням часток SiC ($r \approx 80-100$) мкм

На рис. 3.12 – 3.13 наведено морфологію поверхні та відповідний хімічний склад сформованих композиційних покриттів.

При УЗУО з використанням армуючи часток SiC, розміром (160-200) мкм (рис. 3.12, а) на поверхні спостерігається поодинокі розподілені глобулярні області темного кольору, які напевно є наслідком втілення за умов УЗУО порошків SiC. Результати енергодисперсійного аналізу хімічного складу поверхні повністю підтверджують це припущення.

Більш детальний аналіз мікроструктури поверхні (рис. 3.13) показав, що УЗУО з використанням часток SiC, розміром (160-200) мкм, на відміну від обробки з частинками порошку меншої фракції дозволяє сформувати більш рівномірне покриття по всій площі оброблюваної поверхні. Хоча все ще спостерігаються області поверхні латуні ЛС59-1.



	Ваг. %		
Елемент	1	2	3
Si	8,74	54,28	43,78
Cu	44,59	1,23	16,1
Zn	26,76	0,81	9,24
Fe	1,21	0,25	0,07
O	2,12	1,03	2,31
C	14,78	41,32	27,58
S	1,8	1,08	0,92

Рисунок 3.12 – Морфологія поверхні та хімічний склад композиційного покриття, сформованого з використанням часток SiC ($r \approx 160-200$) мкм

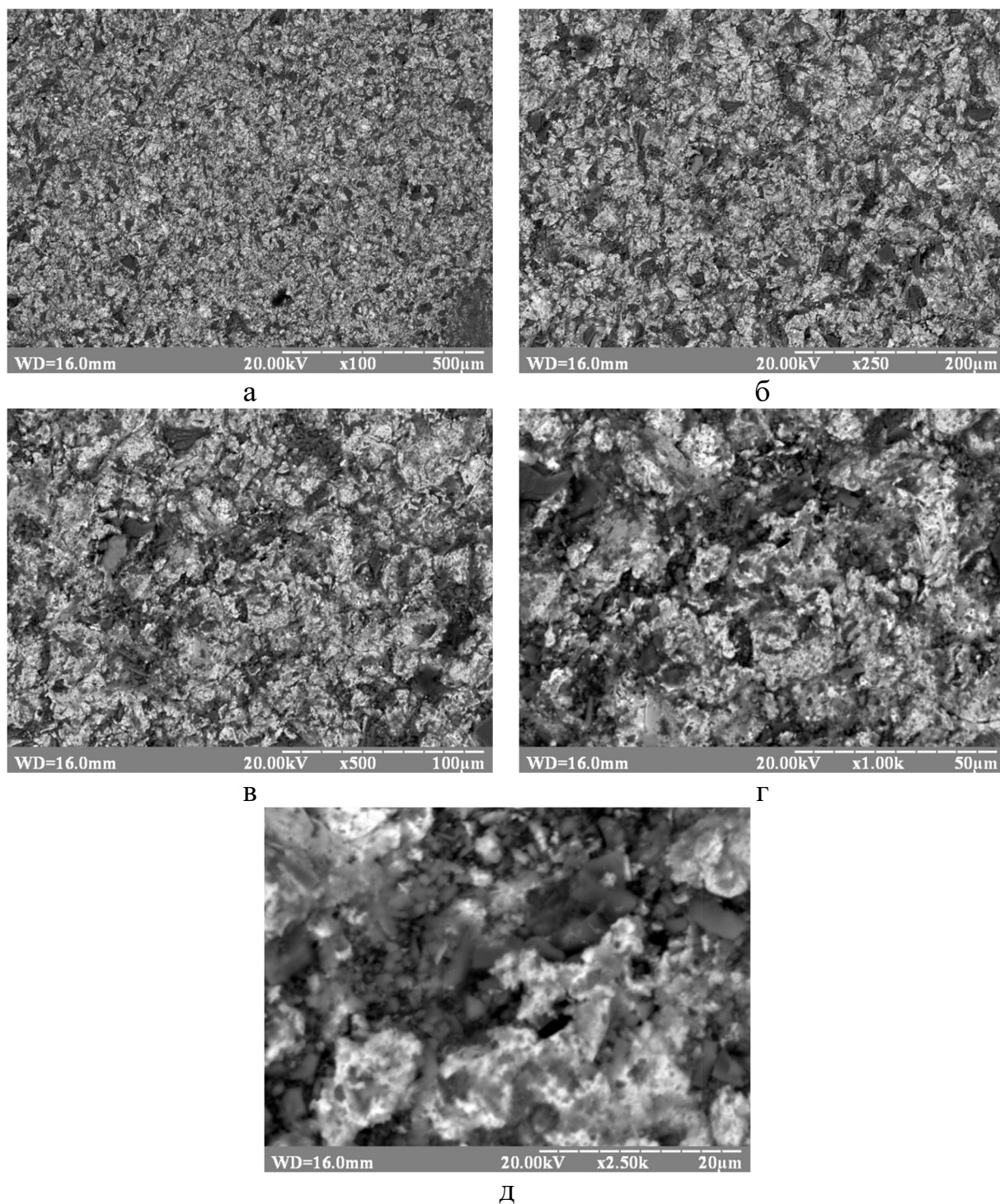


Рисунок 3.13 – Мікроструктура поверхні композиційного покриття, сформованого на поверхні латуні ЛС59-1, з використанням часток SiC ($r \approx 160-200$) мкм

3.3. Висновки до розділу 3

Доведено можливість синтезу високоміцних композиційних покриттів ультразвуковою ударною обробкою поверхні латуні ЛС59-1 впродовж 150 с на повітрі з додаванням порошків SiC різної фракції.

Мікротвердість композиційних покриттів перевищує значення, отримані за аналогічного режиму УЗУО без застосування порошків. Найвище значення мікротвердості $\sim 6,3$ ГПа досягається після обробки з порошком SiC ($r \approx 160 - 200$) мкм, ефект зміцнення порівняно із вихідним станом зразка – 4 рази.

4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї проекту

Ідея проекту полягає в розробці підвищення безпеки експлуатації металевих конструкційних матеріалів шляхом модифікації за допомогою УЗУО (табл. 4.1).

Оцінку ринкової спроможності даного матеріалу можна дати лише в обмеженому вигляді, оскільки дослідження структурно-фазового складу, а також властивостей даного матеріалу досі тривають.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди користувача
Розробка нових зносостійких покриттів	Інженерні технології	Підвищення зносостійкості виробів з латуні
	Технології обробки металів	

4.2 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження

Собівартість науково-дослідної роботи розраховувалась у відповідності з наступними калькуляційними статтями витрат:

- заробітна плата науково-виробничого персоналу;
- єдиний соціальний внесок;
- вартість матеріалів;
- вартість обладнання;
- інші прямі невраховані витрати;
- накладні витрати.

4.2.1 Визначення заробітної плати персоналу

Розрахунок заробітної плати науково-виробничого персоналу базується на визначенні трудомісткості робіт окремих виконавців та їх денної заробітної плати.

Під час проведення науково-дослідної роботи дослідження проводили чотири виконавці: провідний науковий співробітник, старший науковий співробітник, інженер-дослідник та технік. Для КПП ім. Ігоря Сікорського місячні посадові оклади заробітної плати складають:

- провідного наукового співробітника – 16198 грн.;
- старшого наукового співробітника – 15220 грн.;
- інженера-дослідника – 6584 грн.;
- технік – 5144 грн.

Денна заробітна плата кожного з виконавців визначається як місячна заробітна плата, поділена на середню кількість днів у місяці, враховуючи що кількість робочих днів на місяць становить 22. Таким чином, величина денної заробітної плати виконавців складає:

- для провідного наукового співробітника – 736 грн.;
- старшого наукового співробітника – 691 грн.;
- інженера-дослідника – 299 грн.;
- технік – 233 грн.

Трудомісткість виконання етапів науково-дослідної роботи наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Трудомісткість макроетапів виконання науково-дослідної роботи

Макроетапи науково-дослідної роботи	Трудомісткість, люд.-дні			
	Провідний науковий співробітник	Старший науковий співробітник	Інженер-дослідник	Технік
1. Аналіз публікацій за темою	3	6	—	—
2. Обґрунтування мети та напрямів досліджень	2	2	—	—
3. Розробка методики проведення досліджень	3	4	10	—
4. Проведення експерименту:				
4.1 Відпал та резистометрія зразків	—	7	18	7
4.2 Рентгеноструктурний аналіз плівкових композицій	—	2	2	2
4.3 Пошаровий хімічний аналіз методом мас-спектрометрії вторинних нейтральних часток	—	2	4	4
4.4 Пошаровий хімічний аналіз методом мас-спектрометрії вторинних нейтральних іонів	—	2	4	4
5. Обговорення результатів	6	6	6	—
Всього	14	31	44	17

Величина фонду заробітної плати (ФЗП) обчислюється як сума добутоків трудомісткості і денної заробітної плати кожного з виконавців:

$$\text{ФЗП} = 14 \times 736 + 31 \times 691 + 44 \times 299 + 17 \times 233 = 48842 \text{ грн.}$$

4.2.2 Визначення розміру єдиного соціального внеску

Згідно з діючим законодавством єдиний соціальний внесок (B_C) складає 22 % від заробітної платні. $B_C = 0,22 \times 48842 = 10745,2$ грн.

4.2.3 Визначення вартості матеріалів

В даній науково-дослідній роботі використовувались порошки SiC різних фракцій, напилені на поверхню зразків латуні ЛС95-1. Дані про вартість перелічених матеріалів наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Вартість основних матеріалів

Найменування	Одиниця вимірювання	Кількість	Ціна, грн.	Сума, грн.
Порошки SiC	шт.	5	150	750

Транспортно-заготівельні витрати становлять 10 % від вартості матеріалів. Повна сума витрат на матеріали (C_M): $C_M = 750 \times 1,1 = 825$ грн.

4.2.4 Визначення вартості спеціального обладнання і приладів

Всі дослідження в науково-дослідній роботі виконувались на обладнанні, що наявне в лабораторіях КПІ ім. Ігоря Сікорського.

4.2.5 Визначення витрат на службові відрядження

Окремі службові відрядження не планувались під час проведення науково-дослідної роботи.

4.2.6 Визначення вартості робіт і послуг сторонніх організацій

Послуги сторонніх організацій не використовувались під час виконання науково-дослідної роботи. Всі дослідження передбачені даною роботою виконувались в лабораторіях КПІ ім. Ігоря Сікорського.

4.2.7 Визначення інших прямих неврахованих витрат

Інші прямі невраховані витрати ($C_{\text{інш}}$) становлять 10 % від врахованих.
 $C_{\text{інш}} = 0,1 \times (48842 + 10745,2 + 825) = 6041,22 \text{ грн.}$

4.2.8 Визначення накладних витрат

Норматив відрахувань на накладні витрати (H_B) для КПІ ім. Ігоря Сікорського встановлений в розмірі 20% планової суми прямих витрат на виконання науково-дослідної роботи.

$$H_B = 0,20 \times (48842 + 10745,2 + 825 + 6041,22) = 13290,6 \text{ грн.}$$

4.2.9 Визначення планової кошторисної вартості науково-дослідної роботи

Планова кошторисна вартість науково-дослідної роботи визначається як сума витрат за окремими статтями вартості. Результати визначення вартості наведені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Планова кошторисна вартість науково-дослідної роботи

Назва калькуляційної статті	Позначення	Сума	
		грн.	%
1. Фонд заробітної плати виконавців теми	ФЗП	48842	61,27
2. Єдиний соціальний внесок	В _с	10745,2	13,47
3. Матеріали необхідні для виконання теми	С _м	825	1,03
4. Спеціальне обладнання для наукових робіт	С _{об}	—	—
5. Роботи і послуги сторонніх організацій	С _{стор}	—	—
6. Витрати на службові відрядження	С _{від}	—	—
7. Інші прямі невраховані витрати	С _{інш}	6041,22	7,57
8. Накладні витрати	Н _в	13290,6	16,66
Всього		79744,2	100

В таблиці 4.5 представлені технології, які були використані для виготовлення та термічної обробки експериментальних зразків.

Таблиця 4.5 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Технологія осадження УЗУО	Технологія існує	Доступна
Технологія відпалу у вакуумі	Технологія існує	Доступна

Результати проведених досліджень засвідчили, що у залежності від необхідних експлуатаційних характеристик найбільш ефективними можуть бути наступні підходи до модифікації поверхні металевих виробів: спричинена високочастотним ударним навантаженням інтенсивна пластична деформація за кріогенних температур, формування поверхневих композитних шарів впродовж високочастотного ударного навантаження з додаванням у зону інтенсивної пластичної деформації частинок армуючих порошків, комбіноване застосування легування поверхні та інтенсивної пластичної деформації, а також комбінація термічного (наприклад лазер) і механічного (високочастотне ударне навантаження) впливів, застосованих у різних послідовностях.

Для підвищення зносостійкості виробів з латуні рекомендовано модифікацію поверхневих шарів за допомогою високочастотного ударного навантаження. Поверхневі композитні шари товщиною (100–150) мкм формуються шляхом інтенсивної пластичної деформації (частота та амплітуда коливань ультразвукового концентратора – 21,5 кГц, ~25 мкм, частота ударів бойка ~ 2 кГц, енергія удару ~ 26 мДж, тривалість – 150 с) за присутності зміцнюючих порошків (наприклад, SiC розміром (40–50) мкм). Для формування наноструктурованих поверхневих шарів доцільно застосовувати оброблення

методом УЗУО за кріогенних температур, при якому за рахунок гальмування динамічної рекристалізації відбувається суттєве зміцнення, обумовлене подрібненням зеренної структури поверхневого шару.

У табл. 4.6 наведено потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформований орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи.

Таблиця 4.6 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Збільшення зносостійкості, для довготривалого використання запчастин	Компанії які займаються виготовленням запчастин з латуні для промисловості	Стандарти, Технічні регламенти, Специфікації, Обсяги закупок,	Зменшення витрат, та збільшення продуктивності
2	Зменшення витрат на обробку матеріалу		Умови експлуатації	

Підвищення безпеки експлуатації металевих конструкційних матеріалів відповідального призначення є актуальною задачею, оскільки вихід з ладу виробів і конструкцій через низьку їх якість викликає великі матеріальні втрати, завдає колосальної шкоди природі та загрожує життю і здоров'ю людей.

Основними причинами виходу з ладу деталей під час експлуатації є поява пошкоджень на їх поверхні внаслідок зношування чи дії агресивних середовищ, які можуть призвести до утворення втомних тріщин.

Впродовж виконання науково-дослідної роботи проведено аналіз

результатів випробувань і властивостей матеріалів, поверхневі шари яких були модифіковані за допомогою УЗУО та комбінованими методами модифікації із залученням інтенсивної пластичної деформації поверхні (УЗУО) та термічного впливу (електроіскрове легування або лазерне термічне зміцнення).

Після визначення потенційних груп клієнтів проведено аналіз ринкового середовища розроблені таблиці факторів загроз (табл. 4.7) та можливостей реалізації проекту (табл. 4.8).

Таблиця 4.7 – Фактори загроз стартап-проекту

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Нестабільність політичної та економічної ситуації	Зменшення попиту та інвестування	Приймання участі у програмах (локальних та міжнародних) для залучення додаткових інвестицій.
		Зменшення кількості енергетичних ресурсів, ріст цін на матеріали	Перехід на інші види джерел енергії, залучення додаткових інвестицій.

Таблиця 4.8 – Фактори можливостей стартап-проекту

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	2	3	4
1	Зменшення собівартості товару	Зменшення витратних матеріалів	Збільшення обсягу виробництва
2	Зменшення розміру жорсткого диску	Принципово нові	Збільшення обсягу продажу

Продовження таблиці 4.8

№	2	3	4
3	Збільшення щільності запису інформації	можливості виготовлення покриттів	

В таблиці 4.9 представлено SWOT- аналіз сильних та слабких сторін, а також можливостей та загроз стартап-проекту.

Таблиця 4.9 – SWOT-аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Дозволяє з найменшими затратами енергії, збільшити зносостійкість матеріалу; 	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> - необхідність проведення подальших досліджень та створення прототипу.
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> - здатність прийняти участь в наукових проектах (міжнародних та локальних), направлених на розробку нових матеріалів для виготовлення запчастин; - можливість співпраці з компаніями. 	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> - технологічна складність реалізації УЗУО обробки в промислових масштабах; - зниження попиту на ринку.

Дослідження зносостійкості постійно розвивається і триває надалі, як на прикладі даної роботи, де використовувалась латунь сплаву ЛС-59-1, тому оцінити ринкову спроможність та створити маркетингову модель товару неможливо. В науково-дослідній роботі досліджено: вплив УЗУО з використанням різних фракцій SiC, на зміну зносостійкості матеріалу, та досліджено фазові зміни, які спостерігаються після обробки.

4.3 Висновки до розділу 4

Впровадження даного проекту на світовий ринок є перспективним тому, що підвищення зносостійкості матеріалу, може використовуватися у багатьох галузях нашого суспільства. Дані дослідження дозволяють знайти оптимальні матеріали для виготовлення, та знаходять своє застосування у інженерії.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Метою даного розділу є аналіз шкідливих та небезпечних факторів, за яких виникає небезпека ураження організму, умов, що можуть спричинити травмування в процесі дослідження розвитку дифузійних процесів і структурно-фазових перетворень під час проведення синтезу захисних покриттів на поверхні латуні ЛС59-1 ультразвуковим ударним обробленням з використанням карбіду кремнію, а також розробка заходів спрямованих на усунення цих факторів.

Аналізуючи умови праці при виконанні магістерської дисертації потрібно розглянути наступні чинники:

- мікроклімат;
- склад повітря робочої зони;
- шум;
- вібрації;
- освітлення;
- виробниче випромінювання;
- електричний струм.

5.1 Правові та організаційні основи охорони праці

Нормативним документом, що встановлює вимоги до охорони праці є Закон України «Про охорону праці».

Відповідно до ст. 15, на підприємстві з кількістю 50 і більше осіб що працюють роботодавець створює службу охорони праці відповідно до типового положення, що затверджується центральним органом виконавчої влади з питань нагляду за охороною праці [14].

Відповідно до ст. 15, в КПІ ім. Ігоря Сікорського, ректором Згуровським Михайлом Захаровичем, як роботодавцем, створено службу охорони праці, що підпорядковується безпосередньо йому. Начальник відділу охорони праці КПІ ім. Ігоря Сікорського Е.Г. Луцик. Відповідальним за охорону праці в

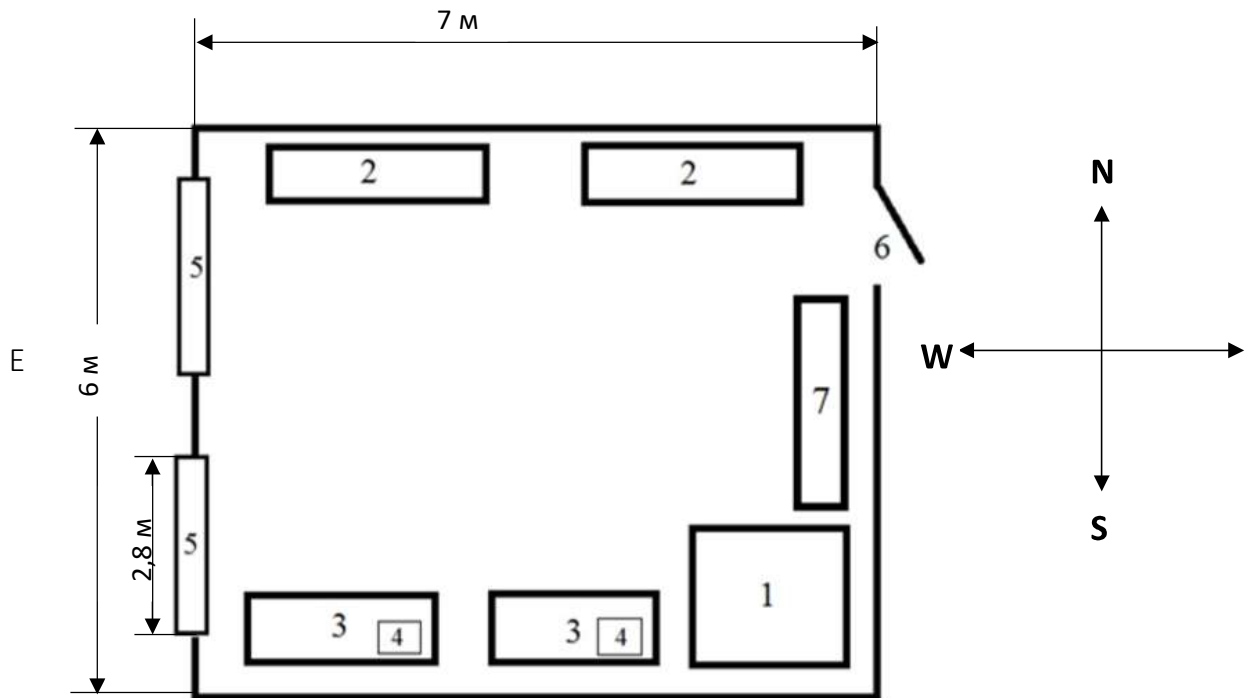
ІМЗ ім. Є.О. Патона – Ю.М. Сидоренко, на кафедрі фізики металів – Є.В. Іващенко, в лабораторії № 507 – А.І. Мазур.

5.2 Аналіз наявності шкідливих та небезпечних виробничих факторів

5.2.1 Аналіз параметрів приміщення та мікроклімату

Науково-дослідна робота виконувалась на кафедрі фізики металів КПІ ім. Ігоря Сікорського, 5 поверху, корпусу № 9, в лабораторії № 507 (рис. 5.1) Було знято заміри приміщення лабораторії:

- розміри лабораторії: ширина – 6 м, довжина – 7 м, висота – 2,7 м.



- 1 – пічка для відпалу (робоче місце); 2 – шафа; 3 – стіл; 4 – комп'ютер;
5 – вікно; 6 – двері; 7 – стелаж для розміщення дослідних зразків

Рисунок 5.1 – Схема лабораторії в якій виконувалася науково-дослідницька робота

Лабораторія (рис. 5.1), в якій працює троє людей має площу 48 м^2 , об'єм 182 м^3 . Площа, яка приходить на одну людину – 16 м^2 , об'єм $\sim 60,6 \text{ м}^3$. Таким чином площа та об'єм лабораторії, згідно з ДсанПіН 3.32-007-98, де на одну людину має приходитись не менше 6 м^2 площі та 20 м^3 об'єму, відповідають нормам [17].

Дуже важливу роль для нормальної працездатності людини відіграє чисте повітря, тому під час виконання науково-дослідної роботи також досліджено мікроклімат в приміщенні лабораторії.

Для забезпечення оптимального мікроклімату, оптимальні і допустимі значення температури, швидкість руху повітря та відносну вологість в робочій зоні в залежності від пори року та категорії важкості робіт встановлюють

«Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» ДСН 3.3.6.042-99 [18].

Згідно ДСН 3.3.6.042-99 категорія важкості робіт, що виконувались в науково-дослідній роботі – легка I б. До даної категорії відносять легкі фізичні роботи до 150 Ккал/год, що супроводжуються певною фізичною напругою та виконуються в сидячому або стоячому положенні, і роботи пов'язані з ходінням.

Таблиця 5.1 – Мікроклімат лабораторії та ДСН 3.3.6.042-99

Період року	Категорія робіт	Температура, °C		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с		Опалення	Вентиляція
		Факт.	Оптим.	Факт.	Оптим.	Факт.	Оптим.		
Холодний	Легка I б	22	22 – 24	58	40 – 60	0,1	0,1	Водяне	Природна
Теплий		24	22 – 24	45	40 – 60	0,1	0,1	–	Природна

З наведених даних можна стверджувати, що мікроклімат лабораторії відповідає оптимальним вимогам санітарних норм, так як виміряні параметри входять у допустимі межі.

5.2.2 Повітря робочої зони

Вміст шкідливих речовин та пилу в повітрі приміщення визначає його чистоту. Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони не має перевищувати гранично допустимих концентрацій, що використовуються при проектуванні виробничих будівель, обладнання, технологічних процесів, вентиляції.

За ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ встановлені гранично допустимі

концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони виробничих приміщень. Потрапляння до повітря робочої зони тих чи інших шкідливих речовин залежить від сировини, що використовується та технологічного процесу [16].

В даній роботі не передбачені процеси полірування, шліфування та травлення, а також щодня проводиться вологе прибирання приміщення. Термічна обробка плівкових зразків проводиться у вакуумі, тому шкідливі випаровування, виводяться за межі лабораторії по спеціально облаштованим шлангам. Виходячи з цього можна стверджувати, що вміст шкідливих речовин та пилу в приміщенні не перевищує допустимих значень.

5.2.3 Шум

Під шумом розуміється абиякий небажаний звук, який призводить до погіршення самопочуття та здоров'я людини, а також знижує її працездатність та сприяє до отримання травм внаслідок підвищення рівня розсіяності та уважності. Робота здійснювалась на установці для ультразвукової ударної обробки, котра створює певний рівень шуму в процесі роботи.

Довготривала дія шуму на людину може викликати наступні порушення:

- 1) погіршення пам'яті;
- 2) запаморочення;
- 3) підвищена стомлюваність;
- 4) дратівливість.

Довготривалий та систематичний вплив ультразвукових коливань негативно впливає на організм людини та може викликати порушення нервової, серцево-судинної і ендокринної систем та порушення слуху.

Засоби індивідуального захисту від шуму та ультразвуку: протишумні (звукоізолюючі) навушники, шоломи, костюми, звукоізолюючі кабінки, акустичні екрани, тощо. В даній роботі застосовувалися протишумні навушники та акустичні екрани.

Встановлення граничних величин шуму на робочих місцях та лабораторних приміщеннях забезпечує ДСН 3.3.6.037-99. Даний документ

встановлює принципи, щодо певних параметрів шуму, виходячи з класифікації приміщень за їх використанням для трудової діяльності різних напрямів. Також варто додати, що рівень ультразвуку, який виникає в процесі УЗУО знаходиться в межах норми (не потрапляє в зону знаходження оператора).

5.2.4 Вібрації

При роботі за установкою для ультразвукової ударної обробки виникає певний рівень вібрацій.

Під вібраціями розуміються механічні коливання пружних тіл або коливальні рухи механічних систем. Загалом вплив вібрацій спричиняє негативну дію на організм людини.

Найголовнішим методом захисту від вібрації, котрий використовується в інженерії, а також в даній роботі, є їх гасіння, внаслідок ізоляції джерел коливань від опорних поверхонь за допомогою гумових, пружинних або комбінованих ізоляторів.

Частотний діапазон вібрацій, котрі діють на людину складає від десятих часток одного Гц до декількох тисяч Гц. Характерними ознаками шкідливого впливу вібрації на людину є зміни її функціонального стану:

- 1) підвищена втомлюваність;
- 2) збільшення часу моторної реакції;
- 3) порушення вестибулярної реакції.

Медичні дослідження показали, що результат впливу вібрацій викликає розвиток нервово-судинних розладів, ураження опорно-рухової та інших систем організму. До лікувально-профілактичних методів зменшення впливу вібрацій належать масажі, гідропроцедури та заходи спрямовані на загальне укріплення організму. Засоби захисту від вібрації подані в державному стандарті ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008. ССБТ "Вібраційна безпека. Загальні вимоги" [15].

5.2.5 Електробезпека

Електричне обладнання, що використовується при виконанні науково-дослідної роботи, живиться напругою 220 В змінного струму частотою 50 Гц. Воно відноситься до I та II класів електротехнічних виробів за способом захисту людини від враження електричним струмом у відповідності до ДНАОП 0.00-1.21-98 [16].

На тяжкість ураження організму електричним струмом впливають певні фактори: величина струму (1 мА) рід струму (струм змінний), частота струму 50 Гц, шлях струму в організмі, стан організму, тривалість дії струму, виробниче середовище.

При розробці захисних заходів, вважають небезпечним струм у 25 мА, при якому важко самотійно відірватись від провідника, а струм величиною 100 мА може призвести до смертельного наслідку.

Під час роботи ураження струмом може статися з наступних причин:

- випадкове доторкання до частин, які перебувають під напругою, через відсутність засобів захисту приладів або безвідповідальне відношення до безпеки персоналу;
- дотик до частин електроприладів, які випадково потрапили під напругу через ушкодження ізоляції чи іншого ушкодження;
- потрапляння під напругу під час ремонтування приладів через помилкове їх включення під час ремонту.

У лабораторії, де виконувалась науково-дослідна робота, наявне правильно виконане захисне заземлення корпусів, електроустаткування і приладів. Лабораторії № 507 відноситься до приміщення без підвищеної небезпеки ураження людини струмом, оскільки це сухе приміщення з температурою повітря (19 – 24) °С та струмонепровідною підлогою. Розташування робочих місць виключається можливість доторкання до корпусів, електроустаткування і приладів.

5.2.6 Виробниче випромінювання

Нормування даних про виробничі випромінювання виконується відповідно до документу: Санітарні правила і норми «Гігієнічні вимоги до відеодисплейних терміналів і ПЕОМ і організації роботи» ДСанПіН 3.3.2-007-98 [15].

При роботі з комп'ютером, що входить в устаткування, виникає небезпека впливу на організм робітника ультрафіолетового випромінювання, невикористаного рентгенівського випромінювання, електростатичного поля.

Норми потужності експозиційної дози рентгенівського випромінювання встановлені у ОШ N 552/10832. Для побутової радіоелектронної апаратури воно не повинно перевищувати $2,78 \cdot 10^{-12}$ мкР/с (100 мкР/год) в будь-якій точці на відстані 5 см від поверхні, що обернена до працівника [17]. Враховуючи, що більша частина роботи виконувалась на комп'ютері, час роботи за монітором скорочено до 4 годин за зміну, з технологічними перервами.

5.3 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці

5.3.1 Вимоги до організації робочого місця

Вимоги до виробничих приміщень для експлуатації ПК, організації і обладнання робочих місць наведені в ДСанПіН 3.3.2.007-98 та НПАОП 0.00-1.28-10. Під час роботи з ПК конструкція робочого місця має забезпечити підтримання правильної робочої пози: ступні ніг – на підлозі або на підставці для ніг; стегна – в горизонтальній площині; передпліччя – вертикально; лікті – під кутом $70^\circ - 90^\circ$ до вертикальної площини; зап'ястя зігнуті під кутом не більше $15^\circ - 20^\circ$ відносно вертикальної площини.

Висота робочої поверхні столу для ПК має бути в межах (680 – 800) мм, а ширина – забезпечувати можливість виконання операцій в зоні досяжності моторного поля. Рекомендовані розміри столу: висота – 725 мм, ширина – (600 – 1400) мм, глибина – (800 – 1000) мм [16, 18].

Робочий стіл для ПК повинен мати простір для ніг висотою не менше 600 мм, шириною не менше 500 мм, глибиною на рівні колін не менше 450 мм, на рівні витягнутої ноги – не менше 650 мм [15].

Організація робочого місця в аудиторії № 507 повністю відповідає вказаним нормам.

5.3.2 Вентиляція

Згідно з ДБН В.2.5-67:2013, місцева вентиляція повинна забезпечувати вилучення забрудненого повітря із зон виділення шкідливих речовин. В інших випадках допускається використання загальнообмінної вентиляції. Рекомендовано використання загальнообмінної вентиляції у поєднанні з місцевою вентиляцією, котра розрахована на видалення з виробничого приміщення шкідливих речовин нелокалізованих місцевими витяжними пристроями [21].

У даній науково-дослідній роботі проводився низькотемпературний відпал у вакуумі, тому можна стверджувати що виділення шкідливих речовин не відбувалось. Усі гази, що відкачувались з під вакуумного ковпака за допомогою форвакуумного насосу одразу виводились за межі лабораторії по спеціально облаштованим шлангам.

5.3.3 Аналіз освітлення приміщення

Залежно від джерела світла розрізняють такі види виробничого освітлення: природне, прямі сонячні промені; штучне, електричні джерела світла, та суміщене, недостатнє природне освітлення доповнюється штучним.

Природне освітлення поділяється на: бокове (одно- або двостороннє), що здійснюється через світлові отвори в зовнішніх стінах; верхнє – через ліхтарі та отвори в стелях і перекриттях; комбіноване – поєднання верхнього та бокового освітлення.

У лабораторії реалізована схема суміщеного освітлення. Природне бокове освітлення в світлий час доби забезпечується наявністю вікон. Для забезпечення штучного освітлення, при нестачі природного, використовують люмінесцентні лампи ЛБ-40 в кількості 24 одиниць.

5.4 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

До небезпек, що можуть статися на виробництві, відносять: пожежі; вибухи (усередині обладнання, будівлях або навколишньому середовищі); викид шкідливих речовин; розрив або руйнування обладнання; одночасне виникнення декількох з перелічених видів небезпеки. Для запобігання виникненню та ліквідації надзвичайних ситуацій на підприємстві має бути план локалізації та ліквідації надзвичайних ситуацій і аварій у відповідності до положення [14].

5.4.1 Пожежна безпека

Згідно з НАПБ Б.03.002-2007 категорії приміщень та будівель підвідомчих підприємств та установ визначаються міністерствами та відомствами, а також технологами проектних організацій на стадії проектування.

В залежності від речовин та матеріалів, що знаходяться у приміщенні, небезпекою приміщення та будівлі за вибуховою та пожежною безпекою поділяються на категорії А, Б, В, Г і Д. В приміщенні категорії А наявні вибухопожежонебезпечні, горючі гази, легкозаймисті рідини з температурою спалаху не більше 28 °С, а також речовини та матеріали, здатні вибухати та горіти при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним у кількостях, що можуть утворювати вибухонебезпечні парогазоповітряні суміші, при спалахуванні яких розвивається надлишковий тиск вибуху в приміщенні, який перевищує 5 кПа.

В приміщенні категорії Б присутні горючий пил чи волокна, легкозаймисті рідини з температурою спалаху більше 28 °С, горючі рідини у кількостях, що можуть утворювати вибухонебезпечні пилеповітряні чи парогазоповітряні суміші, при спалахуванні яких розвивається надлишковий тиск вибуху в приміщенні, який перевищує 5 кПа. В приміщенні категорії В присутні горючі та важкогорючі рідини, тверді та важкогорючі речовини та матеріали (в тому числі пил та волокна), речовини та матеріали, здатні при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним лише горіти, за умови, що приміщення, в яких вони наявні, не відносяться до категорій А і Б. В приміщенні

категорії Г наявні негорючі речовини та матеріали в гарячому, розжареному чи розплавленому стані, процес обробки котрих супроводжується виділення променевого тепла, іскор та полум'я; горючі гази, рідини та тверді речовини, котрі спалюються чи утилізуються в якості палива. В приміщенні категорії Д присутні негорючі речовини та матеріали в холодному стані) [21].

Виходячи з вищезазначеного лабораторія № 507, в якій проведено науково-дослідну роботу, відноситься до приміщення категорії Г. План евакуації поверху № 9 в разі виникнення пожежі наведено на рисунку 5.2.

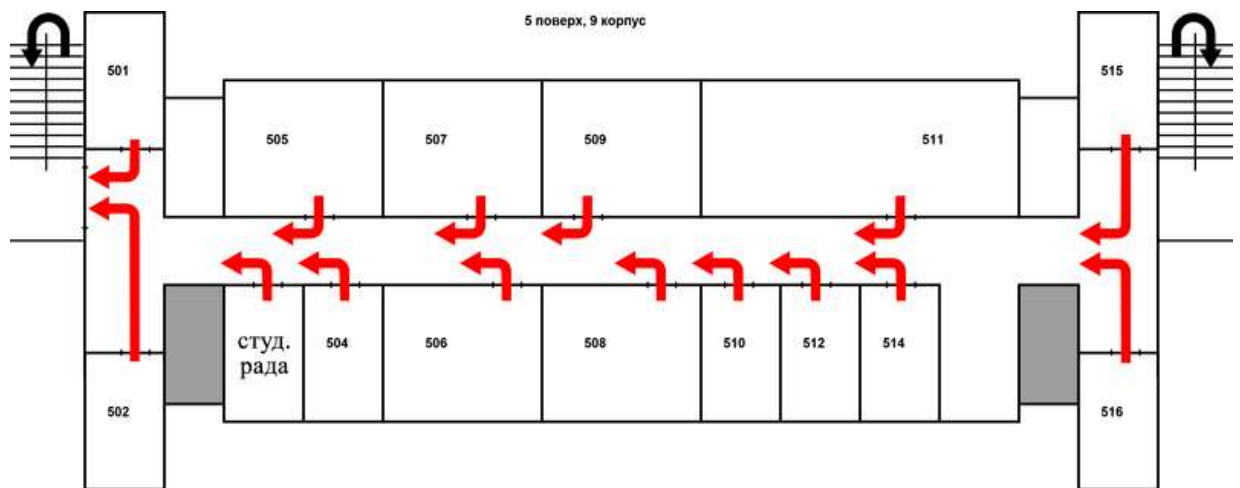


Рисунок 5.2 – План евакуації

Засобами виявлення загорання є встановлені на стелі автоматичні датчики-сигналізатори, а засобом оповіщення співробітників про пожежу служить внутрішній службовий зв'язок.

5.4.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пробою електричної напруги на корпус установки для ультразвукової обробки необхідно відключити установку від мережі і довести до відома про це відповідальну особу за безпеку праці в лабораторії № 507.

У випадку ураження кого-небудь струмом, необхідно відключити установку від мережі, покласти потерпілого на рівну дерев'яну підлогу,

підклавши під голову подушку, викликати швидку за телефоном 103 і, в разі необхідності, надати першу медичну допомогу.

У випадку загорання установки необхідно відключити рубильник і приступити до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника.

5.5 Висновки до розділу 5

1. Проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів, за яких може виникнути небезпека ураження організму.

2. Мікроклімат, освітлення та організація робочого місця в лабораторії № 507-9 відповідають вимогам санітарних норм, а рівень шуму, вібрацій та виробничого випромінювання не перевищує допустимих меж.

ВИСНОВКИ

1. В результаті проведеного аналізу сучасних літературних джерел, в яких розглянуто можливість формування композиційних матеріалів, можна зробити висновки, що УЗУО (ультразвукова ударна обробка) дозволяє впливати на структуру, підвищувати ресурс, механічні та фізико-хімічні характеристики деталей та конструкцій.
2. Обраний комплекс методів дослідження, композиційних покриттів сформованих на поверхні латуні ЛС59-1, дозволяє визначити їх мікромеханічні характеристики та фазовий склад.
3. Доведено можливість синтезу високоміцних композиційних покриттів ультразвуковою ударною обробкою поверхні латуні ЛС59-1 впродовж 150 с на повітрі з додаванням порошків SiC різної фракції.
4. Мікротвердість композиційних покриттів перевищує значення, отримані за аналогічного режиму УЗУО без застосування порошків. Найвище значення мікротвердості $\sim 6,3$ ГПа досягається після обробки з порошком SiC ($r \approx 160-200$) мкм ефект зміцнення порівняно із вихідним станом зразка – 4 рази.
5. В результаті УЗУО відбуваються суттєвий перерозподіл інтенсивностей дифракційних рефлексів від α - та β -фаз та зміни кількісного фазового складу латуні.
6. Проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів, за яких може виникнути небезпека ураження організму.
7. Мікроклімат, освітлення та організація робочого місця в лабораторії № 507-9 відповідають вимогам санітарних норм, а рівень шуму, вібрацій та виробничого випромінювання не перевищує допустимих меж.
8. Впровадження даного проекту на світовий ринок є перспективним тому, що підвищення зносостійкості матеріалу, може використовуватися у багатьох галузях нашого суспільства. Дані дослідження дозволяють знайти оптимальні матеріали для виготовлення, в плані ціна-якість, та знаходять своє застосування у багатьох галузях інженерії.

CONCLUSIONS

1. As a result of the analysis of modern literature sources, which considered the possibility of forming composite materials, we can conclude that UIT allows to influence the structure, increase the resource, mechanical and physico-chemical characteristics of parts and structures.

2. The selected set of research methods, composite coatings formed on the surface of brass LS59-1, allows to determine their micromechanical characteristics and phase composition.

3. The possibility of synthesis of high-strength composite coatings by ultrasonic shock treatment of the LS59-1 brass surface for 150 s in air with the addition of SiC powders of different fraction is proved.

4. The microhardness of composite coatings exceeds the values obtained under a similar mode UIT without the use of powders. The highest value of microhardness ~ 6.3 GPa is achieved after treatment with SiC powder ($r \approx 160-200$) μm , the hardening effect compared to the initial state of the sample is 4 times.

5. As a result of UIT there is a significant redistribution of the intensities of diffraction reflexes from α - and β -phases and changes in the quantitative phase composition of brass.

6. The analysis of harmful and dangerous factors on which there can be a danger of defeat of an organism is carried out.

7. The microclimate, lighting and organization of the workplace in the laboratory № 507-9 meet the requirements of sanitary norms, and the level of noise, vibration and industrial radiation does not exceed the permissible limits.

8. The introduction of this project on the world market is promising because the increase in wear resistance of the material can be used in many sectors of our society. These studies allow us to find the optimal materials for manufacturing, in terms of price and quality, and find their application in many areas of engineering.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сидоренко С.І. Деформаційне формування наноструктурованих композитів на поверхні алюмінієвого сплаву Д16 / С.І. Сидоренко, С.М. Волошко, І.Є. Котенко, А.П. Бурмак // *Металлофизика и новейшие технологии*. – 2012. – Т. 34, №8. – С. 1101–1115.
2. Васильєв М.О. Еволюція структурного стану та мікротвердості поверхні алюмінієвого сплаву Д16 внаслідок ультразвукової ударної обробки у різних атмосферах / М.О. Васильєв, Б.М. Мордюк, С.І. Сидоренко, С.М. Волошко, А.П. Бурмак // *Металлофизика и новейшие технологии*. – 2015. – Т. 37, №9. – С. 1269 – 1289.
3. Белоцкий А.В. Ультразвуковое упрочнение металлов / А. В. Белоцкий, В.Н. Винниченко, И.М.Муха. – К.: Техника, 1989. – 168 с.
4. Бурмак А.П. Формування структурно-фазових станів при ультразвуковому ударному оброблянні та механічні властивості поверхні алюмінієвого сплаву Д16: дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук: 05.16.01 “Металознавство та термічна обробка металів” / Андрій Петрович Бурмак. – Київ, 2014. – 191 с.
5. Mordyuk B.N. Fatigue life improvement of α -titanium by novel ultrasonically assisted technique / B.N. Mordyuk, G.I. Prokopenko // *Materials Science and Engineering*. – 2006. – № 437. – P. 396–405.
6. Польшин Э.В. Мёссбауэровская спектроскопия поверхностного слоя титанового сплава ВТ6, модифицированного ультразвуковой ударной деформацией / Э.В. Польшин, М.А. Васильев, С.М. Волошко, Л.Ф. Яценко // *Металлофизика и новейшие технологии*. – 2014. - Т. 36, № 3. - С. 343-355.
Прокопенко Г.И. Структурное состояние алюминия после ультразвуковой ударной обработки с порошком титана / Г.И. Прокопенко, Б.Н. Мордюк, П.Ю. Волосевич, Н.А. Ефимов // *Металлофизика новейшие технологии*. – 2008. – Т.30, №8. – С. 1079–1089.

7. Патент № UA 68264. Ультразвуковий інструмент для деформаційного зміцнення і релаксаційної обробки металів / Г.І. Прокопенко, О.Ф. Луговський, В.І. Чорний та інші; заявл. 18.12.02; опубл. 15.07.04, Бюл. № 7.
8. Хріпта Н.І. Закономірності формування структурно-фазових станів і функціональних властивостей цирконійових стопів за умов ультразвукового ударного оброблення / Н.І. Хріпта // Успехи физ. мет. – 2016. – Том 2. – С. 119-152.
9. Microstructure related enhancement in wear resistance of tool steel AISI D2 by applying laser heat treatment followed by ultrasonic impact treatment / D.A. Lesyk, S. Martinez, B.N. Mordyuk, et al. // Surface & Coatings Technology. – 2017. – № 328. – P. 344-354.
10. Горелик С. С. Рентгенографический и электронно–оптический анализ: [учеб. пособие для вузов.] / С.С. Горелик, Ю.А. Скаков, Л.Н. Расторгуев. – М.: МИСИС, 1994. – 328 с.
11. Бокий Г.Б. Рентгеноструктурный анализ / Г.Б. Бокий, М.А. Порай-Кошиц. – М.: Наука, 1964.
12. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия / Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. – М.: Металлургия. – 1982. – 632 с.
13. ДСанПіН 3.3.2.007-98 – Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ) електронно-обчислювальних машин.
14. ДСН 3.3.6.042-99. – Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
15. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. – Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
16. ДСН 3.3.6.037-99 – Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
17. ДСН 3.3.6.039-99. – Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.

18. ДНАОП 0.00-1.21-98. – Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
19. СП1960-79 – Санитарные правила работы с источниками неиспользуемого рентгеновского излучения.
20. ДБН В.2.5-67:2013. – Опалення, вентиляція та кондиціонування.
21. НАПБ Б.03.002-2007. – Визначення категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.